



**TUGAS AKHIR - RG 141536**

**STUDI PENURUNAN MUKA TANAH  
MENGUNAKAN DATA *ALOS PALSAR* MULTI  
TEMPORAL DENGAN TEKNIK *DIFFERENTIAL  
INTERFEROMETRIC SYNTHETIC  
APERTURE RADAR (DInSAR)*  
(Studi Kasus: Lumpur Lapindo, Sidoarjo)**

**SENDY AYU YULYTA  
NRP. 3511 100 055**

**Dosen Pembimbing  
Dr.Ir. Muhammad Taufik  
Noorlaila Hayati, ST. MT**

**JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA  
Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2015**

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***



**FINAL ASSIGMENT - RG 141536**

**STUDY OF LAND SUBSIDANCE USING MULTI  
TEMPORAL ALOS PALSAR DATA WITH  
DIFFERENTIAL INTERFEROMETRIC  
SYNTHETIC APERTURE RADAR (DINSAR)  
METHOD  
(Case Study: Lumpur Lapindo, Sidoarjo)**

**SENDY AYU YULYTA  
NRP 3511 100 055**

**Supervisor  
Dr.Ir. Muhammad Taufik  
Noorlaila Hayati, ST. MT**

**GEOMATIC ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty Of Civil Engineering And Planning  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2015**

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***

**STUDI PENURUNAN MUKA TANAH  
MENGUNAKAN DATA ALOS PALSAR MULTI  
TEMPORAL DENGAN TEKNIK *DIFFERENTIAL*  
*INTERFEROMETRIC SYNTHETIC APERTURE RADAR*  
(*DInSAR*)**

**(Studi Kasus: Lumpur Lapindo, Sidoarjo)**

**TUGAS AKHIR**

Dijukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar SARjana Teknik  
Pada

Jurusan S-1 Teknik Geomatika  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**SENDY AYU YULYTA  
NRP. 3511 100 055**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

Dr. Ir. Muhammad Taufik  
NIP. 19550919 198603 1 001



Noorlaila Hayati, ST. MT.  
NIP. 19900603 201404 2 001



**SURABAYA, JULI 2015**

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***

**STUDI PENURUNAN MUKA TANAH  
MENGUNAKAN DATA ALOS PALSAR MULTI  
TEMPORAL DENGAN TEKNIK *DIFFERENTIAL  
INTERFEROMETRIC SYNTHETIC APERTURE RADAR*  
(*DInSAR*)**

**(Studi Kasus: Lumpur Lapindo, Sidoarjo)**

**Nama Mahasiswa** : Sendy Ayu Yulyta  
**NRP** : 3511 100 055  
**Jurusan** : Teknik Geomatika FTSP-ITS  
**Dosen Pembimbing** : Dr. Ir. M. Taufik  
Noorlaila Hayati, ST. MT

**Abstrak**

*Munculnya semburan lumpur di Porong, Sidoarjo, yang terletak di lokasi kegiatan eksplorasi gas PT. Lapindo Brantas memberikan dampak negatif untuk penduduk setempat dan lingkungannya, salah satu dampaknya yakni deformasi. Dalam dinamika bumi, permukaan tanah akan selalu mengalami deformasi dengan berbagai macam faktor penyebab. Seiring perkembangan teknologi, RADAR (Radio Detection and Ranging) merupakan salah satu teknologi penginderaan jauh yang dapat dimanfaatkan untuk mengamati deformasi tanah. Dalam penelitian ini diterapkan metode DInSAR (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar) untuk mendapatkan besar deformasi dengan ketelitian mencapai sub-sentimeter. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah empat buah citra satelit ALOS/PALSAR (Februari 2008, Januari 2009, dan Februari 2010 dan Januari 2011) yang kemudian diproses secara Differential*

*Interferometri SAR (DInSAR) hingga didapatkan besar deformasi pada radius 1.5 km dari pusat semburan.*

*Hasil metode DInSAR menunjukkan deformasi vertikal yang terjadi di sekitar wilayah semburan bervariasi, di beberapa lokasi mengalami subsidence dan beberapa mengalami uplift, tergantung peristiwa yang terjadi pada kurun waktu tersebut. Deformasi yang terjadi pada tahun 2008-2011 memiliki rentang 0 – 10 dan 0 - -10 cm di bagian utara, 0 - -20 cm di bagian selatan, 0 - -20 cm di bagian barat, dan 0 – 10 dan 0 - -10 cm di bagian timur. Untuk mengetahui kebenaran atau keakuratan metode DInSAR dalam mengamati penurunan tanah maka dilakukan analisa dengan membandingkan beberapa penelitian lain terkait deformasi lumpur lapindo.*

***Kata Kunci : Semburan Lumpur Sidoarjo, Deformasi Tanah  
ALOS PALSAR, DInSAR.***



**STUDY OF LAND *SUBSIDANCE* USING MULTI  
TEMPORAL *ALOS PALSAR* DATA WITH  
DIFFERENTIAL INTERFEROMETRIC SYNTHETIC  
APERTURE RADAR (*DINSAR*) METHOD  
(Case Study: Lumpur Lapindo, Sidoarjo)**

**Name** : Sendy Ayu Yulyta  
**NRP** : 3511 100 055  
**Department** : Teknik Geomatika FTSP-ITS  
**Advisor** : Dr. Ir. M. Taufik  
Noorlaila Hayati, ST. MT

**Abstract**

*The emergence of mudflow in Porong, Sidoarjo, which is located at the site of a gas exploration activities by PT. Lapindo Brantas causing negative impact on the local population and the environment, deformation was then one of negative impact. In the dynamics of the earth, the ground will always be deformed with many factors. Along with the development of technology, RADAR (Radio Detection and Ranging) is one of the remote sensing technologies which can be used to monitor deformation around the mudflow. This study applying DInSAR method (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar) for obtain a large deformation with sub-centimeter accuracy. This study using four satellite imagery ALOS/ PALSAR (February 2008, January 2009 and February 2010 and January 2011) which is then processed with Differential SAR Interferometry (DInSAR) to obtain a large deformation at a radius of 1.5 km from the center of mudflow.*

*The results of DInSAR method indicating a vertical deformation that occurs around the area bursts vary, in some locations there are subsidence and uplift, depending on the events that occurred in that period. Deformation that occurred in the year 2008-2011 has a range of 0-10 and 0 - -10 cm in the north, 0 - -20 cm in the south, 0 - -20 cm in the west, and 0-10 and 0 - -10 cm in the eastern part. To know the truth or accuracy of the method DInSAR observed a decrease in soil analysis is carried out by comparing several other studies related deformation Lapindo mud.*

**Keywords : Lapindo Mudflow, Ground Deformation, ALOS PALSAR, DInSAR .**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas segala kekuatan, kesabaran, dan kesehatan yang diberikan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul **“Studi Penurunan Muka Tanah Menggunakan Data ALOS PALSAR Multi Temporal Dengan Teknik *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)* (Studi Kasus: Lumpur Lapindo, Sidoarjo)”** yang merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar SARjana Teknik (ST) pada Jurusan Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Dengan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini hingga selesai dengan baik. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak dan Ibu tercinta, Edy Pramono dan Sri Winantun terima kasih atas segala doa, dukungan, restu, dan semangat yang sudah diberikan selama ini.
2. Mbak dan Adek, Rendy Suciana dan Nurul Fatmawati tercinta terima kasih sudah mengisi hari-hari bersama ditengah-tengah *deadline* yang padat.
3. Bapak Dr. Ir. M. Taufik, selaku dosen pembimbing atas waktu, bimbingan, dan arahan yang telah diberikan selama ini.
4. Ibu Noorlaila Hayati, ST. MT, selaku dosen pembimbing II atas segala masukan yang diberikan mulai awal menentukan judul Tugas Akhir, hingga Laporan Tugas Akhir ini terselesaikan. Terima kasih atas pembimbingan selama ini serta -ilmu baru mengenai SAR, *InSAR*, *DInSAR*, serta *ROI\_PAC* yang telah ibu berikan.

5. Bapak Tri Muji Susantoro serta semua pegawai di bagian Remote Sensing Gedung Eksplorasi 3, LEMIGAS ESDM atas penerimaan, bimbingan dan bantuannya.
6. Segenap dosen dan karyawan Jurusan Teknik Geomatika ITS yang turut membantu dalam memudahkan dan melancarkan segala aktifitas di kampus perjuangan ini..
7. Teman seperjuangan Dhanu P.T, Belly P, Nurahida L, M. Aldila Syaris, Ulul Achsanika, yang telah menemani, menyemangati, dan mau mendengarkan suka cita selama ini.
8. Saudara seperjuangan angkatan 2011 (G13), terima kasih atas waktunya selama 4 tahun yang indah ini dapat saling merasakan suka dan duka bersama.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak terdapat kekurangan, oleh karenanya penulis memohon maaf yang sebesar-besarnya. Akhirnya, penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat dibaca oleh semua pihak dan dapat memberikan tambahan wawasan serta manfaat yang besar.

Surabaya, Juli 2015

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>Halaman Judul .....</b>	<b>i</b>
<b>Abstrak.....</b>	<b>v</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>vii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR TABEL.....</b>	<b>xix</b>
<b>DAFTAR SIMBOL .....</b>	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xxiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Permasalahan.....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Penurunan Muka Tanah.....	5
2.2 Kondisi Lapindo Sidoarjo.....	5
2.3 <i>RADAR (Radio Detection and Ranging)</i> .....	6
2.3.1 Geometri Pencitraan Radar.....	7
2.3.2 Distorsi Pencitraan Radar .....	10
2.4 <i>SAR (Sythetic Aperture Radar)</i> .....	11
2.5 <i>InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar)</i> .....	13
2.6 Pembentukan Interferogram .....	15
2.6.1 Koregistrasi Citra SAR.....	15
2.6.2 Koherensi Citra SAR.....	17
2.6.3 Keterbatasan Koherensi.....	17

2.7	<i>DInSAR (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar)</i> .....	21
2.8	<i>ALOS PALSAR</i> .....	22
2.9	Penelitian Terdahulu .....	24
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b> .....		<b>27</b>
3.1	<b>Lokasi Penelitian</b> .....	27
3.2	<b>Data dan Peralatan</b> .....	28
3.2.1	Data.....	28
3.2.2	Peralatan .....	29
3.3	<b>Metodologi Penelitian</b> .....	29
3.3.1	Tahap Penelitian .....	29
3.3.2	Tahap Umum Pengolahan <i>SAR</i> .....	32
3.3.3	Pengolahan <i>SAR</i> dengan <i>ROI_PAC</i> .....	38
3.3.4	Tahap Pengolahan Citra dengan <i>ROI_PAC</i> .....	39
<b>BAB IV HASIL DAN ANALISA</b> .....		<b>43</b>
4.1	Hasil Pengolahan Data <i>SAR</i> .....	43
4.1.1	Panjang <i>Baseline</i> dan Jarak Temporal .....	43
4.1.2	Ekstraksi Parameter Data.....	44
4.1.3	Interferogram Pasangan Citra .....	46
4.1.4	Interferogram Hasil <i>Flattening</i> .....	47
4.1.5	<i>Removing Topography</i> .....	49
4.1.6	Interferogram Setelah <i>Phase Unwrapped</i> .....	50
4.2	Analisa Hasil Pengolahan <i>DInSAR</i> .....	52
4.2.1	<i>Fringes</i> Pada Interferogram .....	52
4.2.2	Faktor Geometri Daerah Pencitraan.....	53
4.2.3	Estimasi <i>Baseline</i> dan Jarak Temporal .....	54
4.2.4	Nilai Koherensi .....	55
4.2.5	Nilai Phase Unwrapped .....	55
4.3	Analisa Besar Deformasi Area Studi .....	56
4.3.1	Analisa Besar Deformasi Tahun 2008-2009 .....	56

4.3.2 Analisa Besar Deformasi Tahun 2009-2010.....	59
4.3.3 Analisa Besar Deformasi Tahun 2010-2011.....	62
4.4 Perbandingan Analisa Deformasi Dengan Penelitian Terkait.....	65
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>71</b>
5.1 Kesimpulan .....	71
5.2 Saran .....	72
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>73</b>
<b>LAMPIRAN</b>	
<b>BIOGRAFI PENULIS</b>	

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Panjang Gelombang dan Frekuensi Band.....	7
Tabel 3.1	Data <i>ALOS</i> yang Digunakan.....	28
Tabel 3.2	<i>File Driver ROI_PAC_3_0_1</i> .....	38
Tabel 4.1	Baseline Perpendicular dan Jarak Temporal...	44
Tabel 4.2	Informasi Parameter Citra <i>ALOS PALSAR</i> .....	45
Tabel 4.3	Nilai <i>Displacement of Earth's Surface</i> (cm)...	55
Tabel 4.4	Besar Deformasi Tahun 2008-2011.....	65
Tabel 4.5	Prakiraan <i>Subsidence</i> dari Pengukuran GPS.....	66
Tabel 4.6	Besar Deformasi dari Pengukuran GPS.....	66

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Daya Penetrasi Tiap Band.....	7
Gambar 2.2	Sudut Pencitraan Radar.....	8
Gambar 2.3	Resolusi Pencitraan Radar.....	9
Gambar 2.4	Distorsi Citra Radar.....	10
Gambar 2.5	Geometri Pencitraan Sistem SAR.....	11
Gambar 2.6	Hubungan Pergerakan Tanah dan Pergeseran Sinyal.....	14
Gambar 2.7	Interferogram Pasangan Citra ERS-1 dan ERS-2.....	15
Gambar 2.8	Koregistrasi Citra.....	16
Gambar 2.9	Akibat Translasi, Perubahan Skala, Rotasi, Kemiringan, dan Parameter Non-Linier...	17
Gambar 2.10	Hasil Penelitian Terdahulu.....	25
Gambar 2.11	Kerusakan Rumah dan Halaman di Barat Tanggul.....	26
Gambar 3.1	Lokasi Penelitian.....	27
Gambar 3.2	<i>Scene Data ALOS PALSAR</i> .....	28
Gambar 3.3	Diagram Alir Tahap Penelitian.....	30
Gambar 3.4	Diagram Alir Tahap Pengolahan SAR....	33
Gambar 3.5	Diagram Alir Pengolahan di <i>ROI_PAC</i> ...	39
Gambar 4.1	Jarak Baseline Dua Data SAR.....	43
Gambar 4.2	Interferogram <i>Phase</i> Pasangan Citra.....	47
Gambar 4.3	Ilustrasi <i>Flattening</i> Interferogram.....	48
Gambar 4.4	Hasil <i>Flattening</i> Pasangan Citra.....	48
Gambar 4.5	Hasil Penghapusan Topografi Pasangan Citra.....	49
Gambar 4.6	Hasil <i>Phase Unwrapped</i> dan <i>Geocoding</i> ...	51

Gambar 4.7	Kosongnya Nilai <i>Unwrapping</i> dan Topografi Area Penelitian.....	53
Gambar 4.8	Peta Sebaran <i>Cross Section Pair 1</i> .....	56
Gambar 4.9	Grafik Besar Deformasi <i>Pair 1</i> .....	57
Gambar 4.10	Peta Sebaran <i>Cross Section Pair 2</i> .....	59
Gambar 4.11	Grafik Besar Deformasi <i>Pair 2</i> .....	60
Gambar 4.12	Peta Sebaran <i>Cross Section Pair 3</i> .....	62
Gambar 4.13	Grafik Besar Deformasi <i>Pair 3</i> .....	63
Gambar 4.14	Sebaran Lumpur Bulan Juni-Desember 2008.....	69

## DAFTAR SIMBOL

$\Delta\phi$	beda <i>phase</i> .....	14
$\lambda$	panjang gelombang.....	14
$R_1$	jarak tempuh saat sinyal dtransmikan.....	15
$R_2$	jarak tempuh saat sinyal diterima oleh antenna.....	15
$C_1$	kompleks konjugasi citra <i>master</i> .....	16
$C_2$	kompleks konjugasi citra <i>slave</i> .....	16
$\gamma'$	nilai koherensi interferogram.....	17
$\gamma_{\text{geom}}$	besar dekorelasi geometrik.....	19
$B$	<i>baseline</i> antara sensor 1 dan 2.....	19
$Rr$	besar resolusi <i>ground range</i> .....	19
$R$	<i>slant range</i> .....	19
$Y_{\text{thermal}}$	besar dekorelasi suhu.....	20
$SNR$	ukuran kekuatan sinyal (behubungan dengan panas).....	20
$\phi_{\text{topo}}$	besar dekorelasi profil topografi.....	21
$\phi_{\text{orb}}$	perbedaan lintasan orbit .....	21
$\phi_{\text{defo}}$	besar dekorelasi deformasi.....	21
$\phi_{\text{atm}}$	besar dekorelasi atmosfer.....	21
$\phi_{\text{noise}}$	besar dekorelasi <i>noise</i> fase.....	21

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 : Informasi *Raw Data*
- Lampiran 2 : Tabel Besar Deformasi Bagian Utara, Selatan, Barat, dan Timur
- Lampiran 3 : Grafik Deformasi Bagian Utara, Selatan, Barat, dan Timur
- Lampiran 4 : Peta Deformasi Lumpur Lapindo dan Pengambilan Sample Cross Section

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Munculnya semburan lumpur di Porong, Sidoarjo, yang terletak di lokasi kegiatan eksplorasi gas PT. Lapindo Brantas memberikan dampak negatif untuk penduduk setempat dan lingkungannya. Banyak penduduk yang kehilangan tempat tinggalnya, sementara pabrik, rumah sakit, sawah dan jalan terendam lumpur. Salah satu dampak yang perlu dilakukan monitoring yaitu deformasi. Dalam dinamika bumi, permukaan tanah akan selalu mengalami deformasi dengan berbagai macam faktor penyebab. Salah satu penyebab deformasi adalah berkurangnya massa dibawah permukaan akibat pengambilan mineral bumi atau air tanah yang berlebihan. Sedangkan penurunan tanah atau amblesan yang terjadi di lumpur Lapindo Sidoarjo ini disebabkan oleh berkurangnya daya dukung batuan akibat semakin bertambahnya volume lumpur yang keluar menuju permukaan tanah dalam waktu yang lama. Amblesan ini memiliki tingkat penurunan yang bervariasi, tergantung radius terhadap semburan, serta struktur geologi yang bekerja (BPLS 2000 dalam (Susantoro, 2011)).

Seiring dengan perkembangan teknologi yang ada saat ini khususnya dalam mengamati deformasi, *InSAR* (*Interferometric Synthetic Aperture Radar*) merupakan salah satu teknik yang mampu digunakan untuk mengidentifikasi terjadinya deformasi di permukaan tanah dengan memanfaatkan data dari satelit penginderaan jauh aktif yaitu *RADAR* (*Radio Detection and Ranging*). Radar memancarkan gelombang radio kemudian merekam pantulan obyek di permukaan bumi,

hasil perekaman sensor radar ini dinamakan citra SAR (*Synthetic Aperture Radar*) (Sari, 2014).

Pada teknik ini dilakukan pembentukan interferogram yang didapat dari dua buah atau lebih citra SAR (*master* dan *slave*) yang direkam pada objek yang sama di permukaan bumi namun pada waktu yang berbeda. Jika suatu titik di tanah bergerak, maka jarak antara sensor dengan titik akan berubah, dan berpengaruh pada nilai *phase* yang direkam oleh sensor SAR. Nilai beda *phase* inilah yang menunjukkan adanya ground movement. Interferogram yang terbentuk memiliki efek topografi dan atmosferik, oleh karena itu perlu dilakukan pengurangan dengan proses differential SAR (*DInSAR*), sehingga dihasilkan informasi deformasi serta dapat diketahui besar pergerakan tanah (*subsidence* dan *uplift*) yang terjadi.

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data PALSAR (*Phased Array type-L band Synthetic Aperture Radar*). PALSAR merupakan salah satu sensor aktif dengan sistem SAR yang dibawa oleh satelit ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*). Sensor yang membawa saluran L dengan panjang gelombang 23,6 cm ini dapat digunakan pada siang maupun malam hari (Japan Space System, 2012).

Dengan menerapkan teknik *DInSAR* dan data ALOS PALSAR sebagai data pendukung, maka dalam penelitian ini didapatkan perkiraan besar deformasi vertikal serta grafik penurunan tanah yang menggambarkan adanya deformasi di lumpur Lapindo Sidoarjo pada radius 1.5 km dari pusat semburan khususnya tahun 2008 sampai 2011.

## 1.2 **Perumusan Masalah**

Dari latar belakang diatas, maka perumusan masalah dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah:

- a. Bagaimana tahap pengolahan data *ALOS PALSAR* dengan teknik *DInSAR* khususnya dalam mengamati adanya pergerakan tanah yang terjadi di Lumpur Lapindo Sidoarjo?
- b. Berapa besar penurunan tanah yang terjadi di Lumpur Sidoarjo pada tahun 2008 sampai 2011 dengan penerapan teknik *DInSAR*?

## 1.3 **Batasan Permasalahan**

Batasan masalah dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- a. Lokasi penelitan berada di area Lumpur Lapindo radius 1.5 km dari pusat semburan.
- b. Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data *ALOS PALSAR* tahun 2008, 2009, 2010, 2011.
- c. Teknik yang digunakan yaitu *DInSAR* sebagai analisis besar deformasi akibat semburan lumpur Sidoarjo.

## 1.4 **Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Untuk mengamati adanya pergerakan tanah di Lumpur Sidoarjo dengan penerapan teknik *DInSAR*
- b. Untuk mengetahui besar pergerakan tanah (*subsidence* atau *uplift*) akibat semburan lumpur Lapindo dari data *ALOS PALSAR* tahun 2008 sampai 2011

### 1.5 **Manfaat Penelitian**

Manfaat yang dapat diberikan dari pembuatan Tugas Akhir ini adalah untuk:

- a. Mendapatkan informasi deformasi hasil pengamatan yang dilakukan dengan teknik *DInSAR* serta menggunakan data *ALOS PALSAR*
- b. Dapat digunakan sebagai salah satu informasi penting yang berkaitan dengan penanggulangan lumpur Lapindo Sidoarjo

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Penurunan Muka Tanah**

Penurunan muka tanah adalah turunnya atau runtuhnya permukaan tanah yang dapat disebabkan oleh salah satu kegiatan alam atau anthropogenic/ kegiatan yang dilakukan oleh manusia, menurut AH Ng,et.al (2008) dalam Susantoro T.M, 2011. Proses *anthropogenic* yang dapat menyebabkan penurunan muka tanah terutama pengambilan air, minyak, dan gas dari reservoir bawah tanah, runtuhnya tambang bawah tanah, dan pengeringan tanah organik.

Sementara tiga penyebab penurunan tanah terbesar secara umum diantaranya runtuhnya rongga tanah akibat pengambilan air tanah, kegiatan tambang (pengambilan minyak dan gas), dan proses karstifikasi yang tidak disebabkan oleh aktifitas manusia namun terjadinya pelarutan pada batuan yang mudah larut contoh batu gamping (Galloway,et.al, 2000).

#### **2.2 Kondisi Lapindo Sidoarjo**

Penurunan tanah atau amblesan yang terjadi di lumpur lapindo terjadi karena kurangnya daya dukung batuan akibat semakin bertambahnya volume lumpur yang keluar menuju permukaan tanah dalam waktu yang lama. Amblesan ini memiliki tingkat penurunan yang bervariasi, tergantung radius terhadap semburan, serta struktur geologi yang bekerja di pusat semburan amblesan mencapai 20 cm per hari, namun pernah terjadi sampai 300 m (BPLS, 2010 dalam (Susantoro, 2011)).

Hasil penelitian dengan teknik *InSAR* yang dilakukan oleh Sudarsono et.al, (2008) dalam Susantoro

T.M, 2011 diketahui bahwa amblesan di daerah Porong, Kabupaten Sidoarjo terjadi karena keluarnya lumpur ke permukaan dalam jumlah yang sangat besar. Area amblesan berbentuk elips memanjang ke arah Utara-Selatan dengan luas 6,3 km<sup>2</sup> mencakup Kecamatan Tanggulangin yang meliputi Desa Kedungbendo, Kecamatan Porong: Desa Siring, Desa Jatirejo, Desa Mindi, Desa Renokenongo, serta Kecamatan Jabon yang terdiri dari Desa Pejarakan dan Desa Besuki.

### **2.3 RADAR (Radio Detection and Ranging)**

*RADAR* adalah salah satu sistem penginderaan jauh (inderaja) yang tidak dipengaruhi oleh cuaca dan waktu dalam proses pengerjaannya karena merupakan metode perekaman aktif, dimana sensor pada radar ini merekam energinya sendiri yang dipantulkan oleh objek di permukaan bumi, tidak tergantung ada radiasi matahari (Sari, 2014).

Prinsip dasar radar adalah memancarkan gelombang radio dan merekam pantulan obyek di permukaan bumi. Gelombang pantulan yang direkam oleh sensor inilah yang kemudian diolah menjadi citra. Citra dapat terbentuk karena gelombang yang dipantulkan mempunyai intensitas yang berbeda, tergantung dari sudut pantul obyek (Sari, 2014).

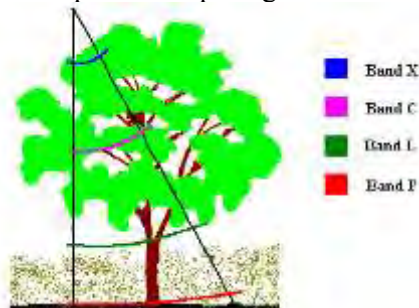
Radar menggunakan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi 0,3 – 40 GHz dan panjang gelombang 0,7 cm – 100 cm. Hanya beberapa band saja yang dapat digunakan untuk pencitraan karena adanya perbedaan interaksi antara atmosfer dan permukaan bumi pada setiap panjang gelombangnya (Tomiyama, 2010). Band yang biasa digunakan untuk pencitraan oleh radar hanya band X, C, L dan P (Lusch, 1999). Semakin panjang gelombang yang dipancarkan maka gelombang tersebut

akan memiliki kemampuan penetrasi awan dan uap air yang semakin meningkat, tetapi berbalik dengan frekuensi yang digunakan (Hardi, 2008).

Tabel 2.1 Panjang Gelombang dan Frekuensi Band  
(Sumber : Lusch, 1999)

Gelombang (band)	Panjang Gelombang (cm)	Frekuensi (GHz)
Ka	0,75 – 1,1	27 – 40
K	1,1 – 1,67	18 – 27
Ku	1,67 – 2,4	12 – 18
X*	2,4 – 3,75	8 – 12
C*	3,75 – 7,5	4 – 8
S	7,5 – 15	2 – 4
L*	15 – 30	1 – 2
P	30 – 100	1 – 0,3

Ilustrasi dari daya penetrasi setiap band pada proses pencitraan dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.1 Daya Penetrasi Tiap Band  
(Sumber : Hardi, 2008)

### 2.3.1 Geometri Pencitraan Radar

Radar mempunyai geometri pencitraan *side looking*, yang mana perlu diperhatikan beberapa sudut yang dibentuk saat pencitraan radar yang meliputi:

a. *Incidence Angle*

*Incidence Angle* merupakan sudut yang dibentuk oleh pancaran radar terhadap garis tegak lurus dari permukaan

b. *Depression Angle*

*Depression Angle* merupakan sudut yang dibentuk oleh horizon wahana terhadap arah pancaran radar

c. *Look Angle*

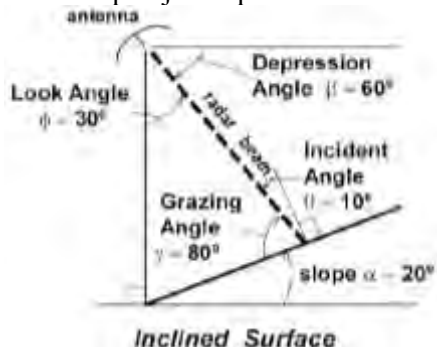
*Look Angle* merupakan sudut yang dibentuk oleh nadir satelit terhadap arah pancaran gelombang radar

d. *Slant Range*

*Slant Range* merupakan jarak miring dari wahana terhadap objek di permukaan bumi. *Slant Range* ini terbagi menjadi *near range* (NR) dan *far range* (FR)

e. *Ground Range*

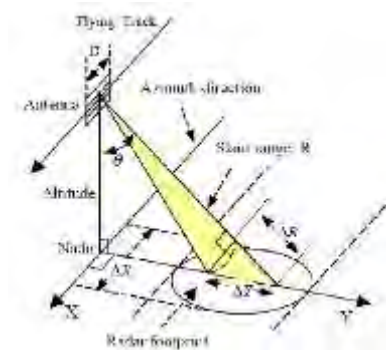
*Ground Range* merupakan jarak lurus dari wahana terhadap objek di permukaan bumi.



Gambar 2.2 Sudut Pencitraan Radar  
(Sumber: Lusch, 1999)



Gambar berikut merupakan geometri pencitraan radar yang sering digunakan untuk observasi bumi.



Gambar 2.3 Resolusi Pencitraan Radar  
(Sumber : Chen., et al, 2002)

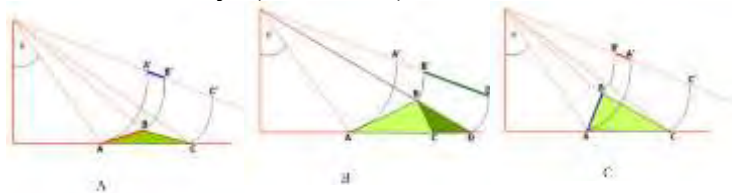
Radar onboard platform (pesawat atau satelit) mengirimkan *microwave* ke permukaan tanah secara terus-menerus dengan look angle ( $\theta$ ) yang mengarah tegak lurus dengan jalur terbang (azimut arah). Setiap kali radar mengirimkan gelombang ke permukaan, maka akan terbentuk suatu area sapuan atau *footprint*. Luas area ini (*footprint*) dianggap sebagai sel kecil yang berjumlah banyak. Gema *backscatter* dari masing-masing sel tanah diterima dan dicatat sebagai piksel oleh pesawat atau satelit sesuai dengan *slant range* antara antenna dan sel tanah. Selama wahana terbang, maka daerah yang disapu radar akan membentuk petak tanah, sehingga diperoleh citra radar tiap petak (Chen, 2002).

Perbedaan antara jarak minimum antara dua objek disebut resolusi citra radar, yang merupakan ukuran penting untuk mengetahui

kualitas gambar radar. Jika jarak antara dua objek semakin kecil maka semakin resolusinya semakin baik. Resolusi citra radar untuk pengamatan bumi didefinisikan oleh resolusi *azimuth* pada arah terbang ( $\Delta x$ ) dan resolusi *slant range* pada permukaan miring ( $\Delta R$ ) atau resolusi jarak permukaan pada arah yang berlawanan ( $\Delta y$ ), seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3

### 2.3.2 Distorsi Pencitraan Radar

Arah pencitraan radar yang kesamping menyebabkan adanya perbedaan representasi topografi pada citra radar sehingga terjadi distorsi, diantaranya (Indra, 2011):



Gambar 2.4 Distorsi Citra Radar

(Sumber : Indra,2011)

#### a. *Foreshortening* (pemendekan)

*Foreshortening* mengakibatkan proyeksi objek hasil pencitraan menjadi lebih pendek dibandingkan dengan panjang yang sebenarnya. Distorsi ini bergantung pada look angle dari radar, semakin besar look angle maka efek *foreshortening* akan semakin kecil. Ditunjukkan pada gambar 2.4 (a)

#### b. *Shadow*

*Shadow* terjadi akibat tidak adanya gelombang pantul yang diterima kembali oleh radar. Ketiadaan gelombang pantul tersebut dikarenakan gelombang yang dipancarkan

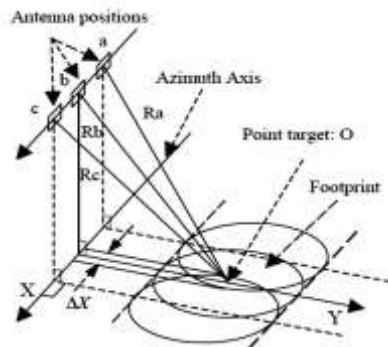
radar tidak mengenai permukaan akibat terhalang oleh suatu objek. *Shadow* biasanya ditandai adanya bagian yang tampak gelap pada citra. Ditunjukkan pada gambar 2.4 (b)

c. *Layover*

*Layover* mengakibatkan titik atau objek yang jauh menjadi lebih dekat dengan sensor radar. *Layover* umumnya terjadi pada objek yang lebih tinggi dibandingkan objek didepannya. Hal tersebut terjadi karena gelombang yang dipantulkan oleh objek yang lebih tinggi akan diterima terlebih dahulu oleh sensor radar. Ditunjukkan pada gambar 2.4 (c)

## 2.4 SAR (Sythetic Aperture Radar)

SAR merupakan sistem radar koheren yang membentuk citra penginderaan jauh resolusi tinggi yang dapat digunakan pada siang maupun malam hari, hal ini dikarenakan sistem SAR menggunakan gelombang radio (*microwave*) dalam pengamatan permukaan bumi.



Gambar 2.5 Geometri Pencitraan Sistem SAR  
(Sumber : Chen., et al, 2002)

Gambar diatas diilustrasikan bahwa panjang antenna ( $L_a$ ) bergerak memancarkan dan menerima

reflektan dari objek O dimulai dari titik “a” ke titik “b” lalu ke titik “c”, sehingga didapatkan perbedaan *slant range* yaitu,  $R_a$  ke  $R_b$  kemudian  $R_c$ . Dapat disimpulkan bahwa  $R_a > R_b$  dan  $R_b > R_c$ . Jarak  $R_a$  adalah jarak *slant range* pada saat antena radar semakin mendekati objek O, sampai *slant range* berada pada jarak terpendek sebesar  $R_b$ , kemudian antena akan terus bergerak menjauhi objek O dengan *slant range* sebesar  $R_c$ . Perbedaan *slant range* karena adanya pergeseran frekuensi (frequency shift) dari reflektan sinyal (hamburan) dari titik O. Antena La akan bergerak sepanjang lintasan, sedangkan gelombang tidak akan terdeteksi secara bersamaan. Hal tersebut sesuai dengan prinsip *Doppler* yang mana objek akan terekam dengan frekuensi yang berbeda-beda karena wahana bergerak saat melewati objek tersebut.

Menurut ESA (2000) dalam Sari, 2014 bahwa resolusi SAR dibagi menjadi dua hal, yaitu sebagai berikut:

a. *Range Resolution*

Resolusi dari pulsa radar adalah secara mendatar dibatasi oleh *bandwidth* (B) dari pancaran pulsa gelombang (c), dengan semakin lebar *bandwidth* maka resolusi *range* semakin baik, lebar *bandwidth* tersebut akan dicapai dengan pulsa durasi pendek.

b. *Azimuth Resolution*

Resolusi pada arah azimuth merupakan resolusi yang sejajar dengan arah terbang wahana. Dengan kata lain yaitu kemampuan dari radar untuk membedakan objek yang melintas searah lintasan wahana (Abidin, 2013).

Karena pengamat ber-*platform* dan berpindah-pindah, maka jarak dari radar ke target juga secara kontinyu berubah dan *phase* dari pantulan sinyal

juga berubah sesuai dengan hukum yang diberikan oleh observasi geometri. Perubahan *phase* berhubungan dengan waktu frekuensi angular *Doppler*, serta resolusi azimuth ditentukan oleh *bandwith Doppler* dari sinyal yang diterima.

## 2.5 **InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar)**

*InSAR* atau yang disebut dengan *SAR Interferometry* adalah pengukuran perubahan sinyal *phase* antara dua citra dengan objek yang sama pada waktu berbeda. Menurut Ismullah (2004), citra *SAR* yang akan diolah secara interferometri, khususnya dari satelit sering disebut dengan citra kompleks atau *SLC (Single Look Complex)*, yang mana dalam tiap pixelnya tersusun atas informasi amplitudo ( $a$ ) dan *phase* ( $\phi$ ):

### a. Amplitudo

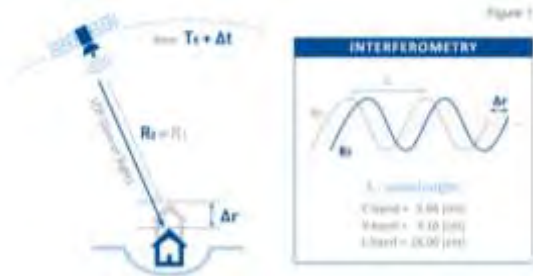
*Image* pada citra radar dapat terbentuk karena hasil pengukuran *amplitude* siste radar. Amplitudo menunjukkan seberapa kuat hamburan dari objek radar yang dapat diterima oleh transmitter. Semakin kuat hamburan, maka semakin terang area pada citra radar, hal tersebut menunjukkan objek dengan permukaan yang kasar. Sedangkan semakin lemah hamburan maka semakin gelap area pada radar yang berarti menunjukkan objek dengan permukaan rata atau halus.

Saat gelombang elektromagnetik berinteraksi dengan permukaan, maka pulsa gelombang akan dipancarkan ke segala arah dan sebagian pantulannya tersebut akan diterima kembali oleh sensor. Intensitas dari gelombang pantul ini sangat lemah bila dibandingkan dengan gelombang yang dipancarkan. Kekasaran permukaan obyek dan relief topografi

merupakan faktor yang sangat mempengaruhi intensitas gelombang pantul (Sharav, 2003).

b. *Phase*

*Phase* merupakan kondisi oksilasi suatu sinyal gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang tertentu yang berulang sejauh  $2\pi$  (Ismullah, 2004). Ketika titik di tanah bergerak, maka jarak antara sensor dan titik akan berubah, dan berpengaruh pada nilai *phase* yang direkam oleh sensor SAR. Gambar berikut menunjukkan hubungan antara gerakan tanah dan pergeseran sinyal *phase*.



Gambar 2.6 Hubungan Gerakan Tanah dan Pergeseran Sinyal  
(Sumber: <http://treuropa.com/technique/InSAR/>)

Pada saat antenna memancarkan gelombang elektromagnetik, sistem radar memiliki *time delay* ( $\tau$ ) yang menyebabkan perubahan sinyal *phase* ( $\phi$ ) pada saat diterima kembali oleh system radar sebesar  $2R = R_1 + R_2$  dengan panjang gelombang elektromagnetik sebesar  $\lambda$ . Pada sistem ini dapat dinyatakan beda fase ( $\Delta\phi$ ) antara dua sinyal balik yang diterima oleh kedua posisi antenna sebesar (Kooij.,et al (1995) dalam Ismullah, 2004):

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} [R_2 + R_2] - \frac{2\pi}{\lambda} [R_1 + R_1] \quad (1)$$

atau,

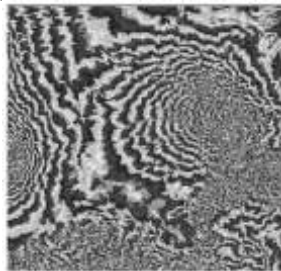
$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda} [R_2 - R_1] \quad (2)$$

dimana  $R_1$  merupakan jarak tempuh saat sinyal ditransmisikan sedangkan  $R_2$  merupakan jarak tempuh pada saat sinyal diterima oleh antenna radar.

Karena adanya perbedaan fase pada citra, maka perbedaan fase tersebut yang akan membentuk *fringes*, citra yang membentuk fringes inilah yang disebut dengan interferogram (Adragna et al. 2008).

## 2.6 Pembentukan Interferogram

Proses *InSAR* membutuhkan dua data citra *SAR* untuk menghitung beda fase dari dua data tersebut, hasil proses *InSAR* divisualisasikan dalam bentuk inteferogram. Pada interferogram terlihat garis- garis tepi atau yang disebut *fringes*. *Fringes* menunjukkan rentang fase antara 0 hingga  $2\pi$  dalam bentuk warna. Berikut contoh gambar



Gambar 2.7 Interferogram Pasangan Citra ERS-1 dan ERS-2  
(Sumber : Ismullah 2004)

Gambar tersebut menunjukkan antara warna yang pertama dengan warna yang sama berikutnya (misalnya dari awal hitam ke awal hitam berikutnya, atau dari awal putih ke awal putih berikutnya), perbedaan yang terjadi adalah sebesar  $2\pi$  (Ismullah, 2004).

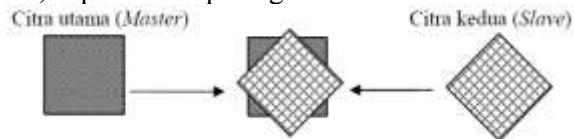
### 2.6.1 Koregistrasi Citra SAR

Tahap yang sangat penting dalam pembentukan interferogram adalah ko-registrasi

antara dua citra *SAR*. Tahap ini memerlukan waktu yang cukup banyak dan sangat berpengaruh terhadap hasil interferogram yang terbentuk.

a. Koregistrasi Citra Kompleks

Citra *SAR* merupakan citra kompleks yang setiap pixelnya mempunyai harga dalam bilangan kompleks. Jika terdapat dua buah citra (*SLC*) dengan objek yang sama, maka informasi fase dari kedua citra tersebut dapat dikombinasikan. Pixel kompleks dapat digambarkan sebagai suatu vektor, dimana panjang vektor menyatakan amplitudo ( $a$ ) sedang arah/ orientasinya menyatakan fasa ( $\phi$ ). Dalam *SAR*, istilah vektor ini disebut fasor (*phasor*) dan merupakan resultan dari semua penyebaran obyek dalam bentuk sebaran resolusi sel. Secara umum pencocokan citra ini, dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 2.8 Koregistrasi Citra  
(Sumber : Ismullah 2004)

Pembentukan interferogram dilakukan dengan menghitung lebih dahulu bentuk kompleks dari perkalian kompleks konjugasi (\*) antara citra pertama  $C_1$  (*master*) dengan citra kedua  $C_2$  (*slave*) melalui persamaan:

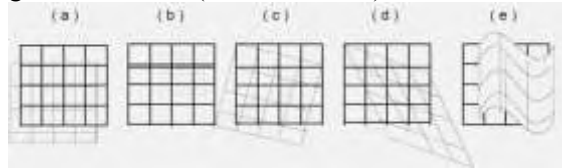
$$I = C_1 \cdot C_2^* \quad (3)$$

b. Parameter Koregistrasi

Parameter yang paling penting dalam tahap ini adalah translasi, skala, rotasi, dan



kemiringan. Parameter- parameter registrasi ini umumnya linier terhadap koordinat. Meskipun demikian, terdapat juga parameter yang non linier, seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut (Ismullah 2004).



Gambar 2.9 Akibat Translasi (a), Perubahan Skala (b), Rotasi (c), Kemiringan (d), dan Parameter Non-linear (e)

(Sumber : Ismullah 2004)

### 2.6.2 Koherensi Citra SAR

Interferometri didefinisikan sebagai penggabungan dari fungsi gelombang dari suatu sumber yang koheren. Nilai koherensi antara citra C1 dan C2 menunjukkan hasil seberapa jauh kecocokan antara kedua citra tersebut. Nilai koherensi dihitung dari hubungan (Hartl, 1996):

$$\gamma' = \left| \frac{\sum C_1 \cdot C_2^*}{\sqrt{\sum C_1 \cdot C_1^*} \sqrt{\sum C_2 \cdot C_2^*}} \right| \quad (4)$$

Jika C1 dan C2 benar- benar identik, maka  $\gamma' = 1$ , akan tetapi jika tidak maka nilainya berkisar  $0 \leq \gamma' \leq 1$ .

Sesuai dengan persyaratan yang diberikan oleh *European Space Agency (ESA)*, nilai minimum koherensi untuk pembentukan Model Tinggi Permukaan Dijital adalah 0,20.

### 2.6.3 Keterbatasan Koherensi

Jika nilai koherensi bernilai 1 maka kedua citra memiliki korelasi yang sangat baik yang mengindikasikan bahwa tidak terjadi perubahan karakteristik dari objek pada akuisisi kedua citra.

Sebaliknya, jika nilai koherensi bernilai 0 maka korelasi kedua citra tersebut sangat buruk. Pada kasus koherensi dengan nilai 0, maka interferogram tidak akan bisa dihasilkan. Pada kenyataannya koherensi bernilai 1 mustahil untuk didapatkan karena sangat sulit untuk mendapatkan citra yang sangat identik (Sousa, 2009).

Nilai koherensi merupakan total dari korelasi yang mempengaruhinya, diantaranya:

a. Dekorelasi Waktu

Akuisisi data yang diperoleh secara tidak bersamaan menyebabkan hilangnya koherensi citra atau menurunnya kualitas fase (interferogram) karena perubahan temporal (Adragna et al. 2008), seperti:

- i. Perubahan reaksi vegetasi, karena pertumbuhan setelah beberapa hari atau karena aktivitas lain seperti panen, pembajakan sawah, angin kencang dan lain-lain.
- ii. Pergerakan permukaan air secara terus menerus. Laut, danau, kolam, ataupun rawa yang merupakan area yang tidak tetap dan tidak stabil.
- iii. Erosi tanah, misalnya jika terjadi tanah longsor.
- iv. Aktivitas manusia seperti perluasan area parkir di pusat perdagangan, pembangunan suatu tempat, penebangan hutan, dan lain sebagainya.

b. Dekorelasi Geometri

Jika dua akuisisi data diperoleh dari kondisi geometri yang sama dan reflektornya

tidak bergeser, maka jumlah reflektor akan sama (nilai *phase* juga sama). Namun jika kondisi geometri dua akuisisi berubah maka jumlah reflektor akan berbeda, dan fase akan termodifikasi. Karena terdapat pemancaran gelombang yang bermacam-macam, maka frekuensi yang dibawa juga akan bervariasi.

*Shift frequency* (pergeseran frekuensi) antar dua akuisisi diperoleh dari dua kejadian yang berbeda (Adragna et al. 2008).

$$\gamma_{geom} = 1 - 2(|B|R_r \frac{(\cos\theta)^2}{\lambda r}) \quad (5)$$

$\gamma_{geom}$  menyatakan besar dekorelasi geometrik,  $r$  merupakan slant range (jarak sensor ke target),  $R_r$  merupakan besar resolusi *ground range*, sedangkan  $B$  merupakan *baseline* atau jarak antara sensor 1 dan 2.

#### c. Dekorelasi Atmosfer

Gelombang radar melintas dua kali pada lapisan atmosfer (troposfer dan ionosfer) yang memiliki variable indeks bias. Jika kondisi atmosfer termodifikasi, maka muncul perbedaan fase dan akan mengganggu pengukuran. Efek ionosfer (heterogenitas) dan efek troposfer (fluktuasi) amplitudonya lebih tinggi pada waktu petang dan pagi hari. Misalnya saja satelit *RADARSAT descending* pada pukul 06.00 dan *ascending* pukul 18.00, yang diharapkan dapat mengurangi masalah troposfer (Adragna et al. 2008).

##### i. Pengaruh Troposfer

Jika indeks bias lebih tinggi dari 1, maka kecepatan lintas gelombang akan

semakin rendah dari kecepatan cahaya, yang mana terjadi pemanjangan gelombang. Efek troposfer memperpanjang gelombang sehingga terjadi perlambatan fase dan akan menimbulkan kesalahan dalam penentuan jarak.

ii. Pengaruh Ionosfer

Penyimpangan kerapatan elektron pada lapisan ionosfer (F) membuat lintasan garis edar memendek. Penyimpangan ionosfer berkaitan dengan pembentukan awan, gelembung ionosfer, dlebih umumnya karena variasi uap air pada troposfer.

d. Dekorelasi Suhu (*Thermal Deccorelation*)

Menurut Hanssen (2011) dalam Sasongko 2012, pengaruh dari gangguan panas terhadap nilai fase didapatkan dengan memperhatikan nilai *Signal Noise to Ratio* (SNR). SNR merupakan ukuran kekuatan sinyal yang berhubungan dengan ukuran panas, dimana ukuran panas tersebut terjadi karena proses penguatan (*amplification*) dari sinyal radar yang diterima oleh antenna. Dekorelasi suhu digambarkan dengan persamaan  $Y_{thermal}$ :

$$Y_{thermal} = \frac{1}{1+SNR^{-1}} \quad (6)$$

atau,

$$Y_{thermal} = -\frac{1}{\sqrt{(1+SNR^{-1})(1+SNR^{-1})}} \quad (7)$$

## 2.7 *DInSAR (Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar)*

Teknik *DInSAR* bertujuan untuk mengamati pergerakan tanah atau deformasi dengan menggunakan teknik *repeat-pass interferometry* (Purna 2009), fase interferometrik mengandung dekorelasi dari profil topografi ( $\varphi_{\text{topo}}$ ), perbedaan lintasan orbit ( $\varphi_{\text{orb}}$ ), deformasi ( $\varphi_{\text{defo}}$ ), atmosfer ( $\varphi_{\text{atm}}$ ), dan *noise* fase ( $\varphi_{\text{noise}}$ ). Secara mudah diformulasikan sebagai berikut (Hanssen, 2001):

$$\varphi_G = \varphi_{\text{topo}} + \varphi_{\text{orb}} + \varphi_{\text{defo}} + \varphi_{\text{atm}} + \varphi_{\text{noise}} \quad (8)$$

Menurut Hanssen (2001) dalam Kusman, 2008 cara untuk mendapatkan efek deformasi yaitu melakukan deferensial pada interferogram dan menghilangkan pengaruh topografi, noise, serta atmosfer. Adapun metode yang digunakan dalam melakukan *diferensial* interferogram diantaranya:

### a. *Dual-Pass DInSAR*

Metode dual pass *DInSAR* merupakan metoda yang menggunakan dua buah citra *SAR* dan *Digital Elevation Model* (DEM). Citra *SAR* tersebut akan digunakan untuk mendapatkan interferogram, sedangkan DEM digunakan untuk menghilangkan pengaruh topografi pada fase interferogram (Sacristan, 2004).

Metode ini menggunakan model elevasi (DEM) eksternal yang dikonversikan kedalam koordinat radar, diskalakan menggunakan *baseline* (Massonnet, 1998). Kesalahan yang terdapat pada data DEM ini pada akhirnya akan merambat pada hasil perhitungan *DInSAR*. Dengan kata lain, semakin baik kualitas DEM yang digunakan, maka semakin baik pula citra *DInSAR* yang dihasilkan.

b. *Three-Pass DInSAR*

Metode ini membutuhkan pasangan topografi yang diperoleh dari citra SAR 1 dan 2 dimana selisih temporal dari dua pengamatan tersebut saling berdekatan, sehingga tidak ada unsur deformasi didalam model topografi itu atau dianggap tidak memiliki kesalahan deformasi. Kemudian dibutuhkan pasangan topografi yang masih dipengaruhi oleh deformasi yang diperoleh dari citra SAR 1 dan 3 yang memiliki selisih temporal yang cukup berjauhan. Pasangan citra ini selanjutnya diproses untuk menghasilkan data topografi yang diperlukan pada pengolahan *DInSAR*.

c. *Four-Pass DInSAR*

Secara umum metode ini hampir sama dengan three pass Interferometri, namun pada metode ini digunakan empat buah citra dari empat akuisisi data yang berbeda. Interferogram hasil kombinasi empat buah citra inilah yang akan digunakan pada proses differencing (Sacristan, 2004).

## 2.8 **ALOS PALSAR**

*PALSAR (Phased Array type L-Band Synthetic Aperture Radar)* merupakan sensor gelombang mikro aktif yang dapat dioperasikan baik siang maupun malam hari pada band L (frekuensi pusat 1270 MHz 23,6 cm). Satelit ini merupakan perbaikan satelit observasi bumi pertama dengan SAR yaitu *JERS-1*. *PALSAR* terbagi menjadi tiga mode observasi, diantaranya (Japan Space System, 2012)

a. *Fine Mode*

Pengamatan dengan mode *Fine Beam* yang paling umum digunakan. Besar *range resolution* 7 m, sedangkan lebar sapuan 40 – 70 km. *Fine beam*

merupakan salah satu sistem SAR dengan resolusi tinggi dibandingkan dengan *JERS-1* yang memiliki resolusi 18 m.

b. *ScanSAR Mode*

Pengamatan dengan mode *ScanSAR* memungkinkan untuk beralih ke sudut off-nadir dari 3 sampai 5 kali (scan dengan lebar petak 70 km) untuk menyapu area dengan luas 250 km (70 x 3) ke 350 km (70 x 5). Besar *resolution range* pada mode ini yaitu 100 m.

c. *Polarimetric Mode*

Tidak hanya polarisasi horisontal saja atau vertikal saja (HH atau VV), *PALSAR* juga dapat secara bersamaan menerima polarisasi horisontal dan vertikal atau sebaliknya (HV atau VH) pada tiap transmisi, atau yang disebut dengan multipolarisasi. *PALSAR* memungkinkan melakukan empat polarisasi dengan dua polarisasi secara simultan, fungsi ini disebut *full polarimetry*. Besar *resolution range* pada mode ini yaitu 24 - 89 m.

Data yang dihasilkan oleh *ALOS PALSAR* akan diubah sesuai dengan format *CEOS (Comitte on Earth Observation Satellite)* sebelum digunakan oleh pengguna. Untuk data dengan resolusi tinggi (*fine beam*) terbagi menjadi 3 format menurut tingkat pemrosesan data yang dilakukan oleh *CEOS* yaitu sebagai berikut (Indra, 2011):

a. Level 1.0

Pada level ini, data *ALOS PALSAR* masih berupa data *raw*. Pengolahan yang telah dilakukan *CEOS* pada data level ini adalah membagi data menjadi citra- citra tertentu.

b. Level 1.1

Pada level ini, data dikeluarkan oleh *CEOS* berupa *SLC (Single Look Complex)* dan *MLI (Multi Looks Image)*. Pada level 1.1 sistem koordinat yang digunakan adalah *slant angle*. Pembuatan interferogram dilakukan pada tahap level ini. Pengolahan yang dilakukan pada level ini adalah *range compression*, *autofocus* dan *azimuth compression*.

c. Level 1.5

Pada level ini, data yang dikeluarkan *CEOS* yang mana data *InSAR* telah dikonversi dari sistem koordinat *slant range* menjadi *ground range* sehingga data ini telah *orthorectified image* artinya citra ini tidak lagi diproyeksikan secara perpektif, melainkan telah diproyeksikan secara tegak lurus.

## 2.9 Penelitian Terdahulu

*ERSDAC(Earth Remote Sensing Data Analysis Center)* yang bekerjasama dengan LEMIGAS (Lembaga Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi) telah melakukan penelitian penurunan muka tanah di Lumpur Sidoarjo dengan data *ALOS PALSAR* 7 Oktober 2009, 22 Februari 2010, 10 Juli 2010, 25 Agustus 2010, dan 10 Oktober 2010. Teknik yang digunakan dalam pengolahan datanya yakni teknik *InSAR*.

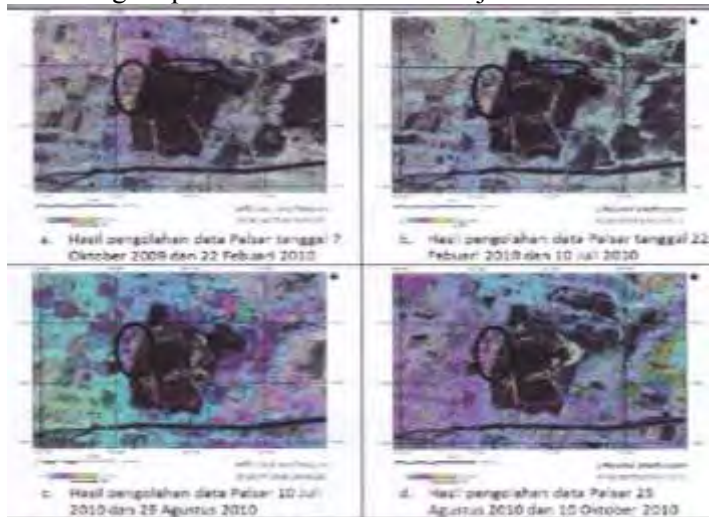
Penurunan muka tanah yang terjadi berdasarkan hasil pengolahan terlihat jelas bahwa terjadi penurunan muka tanah di sekitar area semburan. Berikut penjelasannya:

- a. Tanggal 7 Oktober 2009 – 22 Februari 2010 yang paling besar terjadi di sisi sebelah Barat tanggul lumpur Lapindo, tepat di sepanjang jalan raya



Porong-Sidoarjo yang juga merupakan jalur rel kereta api.

- b. Tanggal 22 Februari - 10 Juli 2010 masih mempunyai pola yang sama dengan hasil analisis sebelumnya, dimana sisi Barat tanggul terlihat paling besar kemudian membentuk model melingkar ke sisi Timur tanggul.
- c. Tanggal 25 Agustus 2010 - 10 Oktober 2010 pola melingkar penurunan tanah semakin jelas.



Gambar 2.10 Hasil Penelitian Terdahulu

(Sumber : Susantoro, 2011)

Dalam penelitian ini disebutkan bahwa kondisi penurunan muka tanah di sebelah Barat masih relatif besar, dikarenakan faktor berikut:

- a. Adanya *buble* yang berdasarkan survey lapangan ditemukan di dua lokasi dan meruntuhkan rumah penduduk.

- b. Adanya tekanan yang besar dari permukaan yang berasal dari kendaraan bermotor dan kereta api yang melewati daerah tersebut.



Gambar 2.11 Kerusakan Rumah dan Halaman di Barat  
Tanggul

(Sumber : Susantoro, 2011)

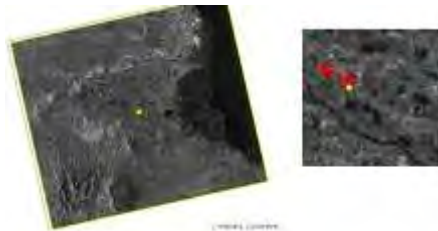
## BAB IV HASIL DAN ANALISA

### 4.1 Hasil Pengolahan Data SAR

#### 4.1.1 Panjang *Baseline* dan Jarak Temporal

Deformasi yang terjadi pada tiap titik di permukaan bumi dapat terjadi secara signifikan ataupun stabil dalam kurun waktu tertentu. Untuk deformasi yang terjadi di lumpur Lapindo Sidoarjo pada bulan Juni 2006 hingga September 2007 termasuk kedalam penurunan signifikan mencapai 0.1 – 0.4 cm/ hari, dan diperkirakan stabil ditahun 3 – 10 tahun mendatang (Abidin & dkk, 2008).

Diperkirakan deformasi yang terjadi di lumpur Lapindo pada tahun 2008 – 2011 cukup stabil sehingga untuk mengamati perubahannya dibutuhkan data dengan jarak tempo tidak terlalu berdekatan. Namun untuk mendapatkan koherensi yang baik dibutuhkan jarak tempor tidak lebih dari 6 bulan. Sedangkan panjang *baseline* yang terlalu jauh dapat menyebabkan kecilnya nilai koherensi, oleh karena itu untuk menghasilkan nilai koherensi yang baik dibutuhkan jarak *baseline* tidak lebih dari 500 m.



Gambar 4.1 Jarak *Baseline* Dua Data SAR  
(Sumber: <https://cross-ex.info/>)

Besar *baseline* tercantum pada file hasil pengolahan *ROI\_PAC* dengan *file name* “*baseline*”. Dalam file tersebut terdapat informasi berikut:

P\_*BASELINE*\_TOP\_HDR -896.820814748486  
P\_*BASELINE*\_BOTTOM\_HDR -840.494046515758

Berikut panjang *baseline* dan jarak temporal dari citra *SAR* yang digunakan dalam pengolahan ini:

Tabel 4.1 *Baseline Perpendicular* dan Jarak Temporal

<i>ID_Scene</i>	Tanggal Perekaman	Pair	<i>Baseline</i> <i>Perpendicular</i>	Jarak Temporal
ALPSRP110067030	17 Februari 2008	Pair1	791.495 m	11 bulan
ALPSRP157037030	4 Januari 2009	Pair2	-616.643 m	13 bulan
ALPSRP217427030	22 Februari 2010	Pair3	-896.821 m	11 bulan
ALPSRP264397030	10 Januari 2011			

#### 4.1.2 Ekstraksi Parameter Data

Tahap awal sebelum melakukan *InSAR processing* terlebih dahulu dilakukan *SAR processing raw* data agar menghasilkan citra kompleks (*SLC*). Pada proses ini dilakukan pembacaan parameter data dikarenakan *raw* masih berisi susunan data sinyal yang belum dipadatkan. Berikut informasi parameternya:

Tabel 4.2 Informasi Parameter Citra *ALOS PALSAR*

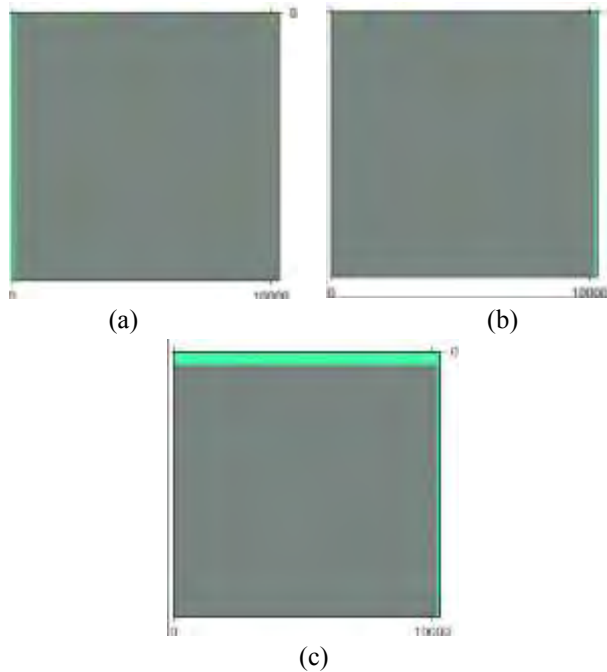
Radar Parameter	Value
FIRST_FRAME	7030.000
FIRST_FRAME_SCENE_CENTER_TIME	20100222152258400.000
FIRST_FRAME_SCENE_CENTER_LINE	0.000
DATE	100222.000
FIRST_LINE_YEAR	2010.000
FIRST_LINE_MONTH_OF_YEAR	2.000
FIRST_LINE_DAY_OF_MONTH	22.000
FIRST_CENTER_HOUR_OF_DAY	15.000
FIRST_CENTER_MN_OF_HOUR	22.000
FIRST_CENTER_S_OF_MN	58.000
FIRST_CENTER_MS_OF_S	445.000
PROCESSING_SYSTEM	ALOS-DPS
PROCESSING_VERSION	1.000
WAVELENGTH	0.236
PULSE_LENGTH	0.000
CHIRP_SLOPE	-103704000000.000
I_BIAS	15.500
Q_BIAS	15.500
PLATFORM	ALOS
BEAM	34.300
POLARIZATION	HH
ORBIT_NUMBER	21742.000
RANGE_BIAS	0.000
STARTING_RANGE	846791.401
RANGE_PIXEL_SIZE	4.684
PRF	2141.328
ANTENNA_SIDE	-1.000
ANTENNA_LENGTH	8.900
FILE_LENGTH	38704.000
XMIN	0.000
XMAX	10303.000
WIDTH	10303.000
YMIN	0.000
YMAX	40484.000
RANGE_SAMPLING_FREQUENCY	32000000.000
PLANET_GM	398600448073000.000
PLANET_SPINRATE	0.000
FIRST_LINE_UTC	55377.506
CENTER_LINE_UTC	55386.543
LAST_LINE_UTC	55395.581
HEIGHT_TOP	699582.043
HEIGHT	699595.754
HEIGHT_DT	-16.216
VELOCITY	7595.614
LATITUDE	-8.470
LONGITUDE	108.273
HEADING	-12.061

EQUATORIAL_RADIUS	6378137.000
ECCENTRICITY_SQUARED	0.007
EARTH_EAST_RADIUS	6378654.870
EARTH_NORTH_RADIUS	6336817.711
EARTH_RADIUS	6338630.617
ORBIT_DIRECTION	ascending
DOPPLER_AMBGTY	0.000
DOPPLER_RANGE0	0.017
DOPPLER_RANGE1	0.000
DOPPLER_RANGE2	0.000
DOPPLER_RANGE3	0.000
SQUINT	0.053
FILE_START	1.000
RAW_DATA_RANGE	848815.000
AZIMUTH_PIXEL_SIZE	3.547
DELTA_LINE_UTC	0.000
RANGE_OFFSET	0.000
RLOOKS	1.000
ALOOKS	1.000
HEIGHT_DS	-0.002
HEIGHT_DDS	0.000
CROSSTRACK_POS	7.739
CROSSTRACK_POS_DS	0.000
CROSSTRACK_POS_DDS	0.000
VELOCITY_S	7595.601
VELOCITY_C	0.000
VELOCITY_H	-14.232
ACCELERATION_S	-0.002
ACCELERATION_C	0.161
ACCELERATION_H	-8.150
VERT_VELOCITY	-14.565
VERT_VELOCITY_DS	0.000
CROSSTRACK_VELOCITY	-1.470
CROSSTRACK_VELOCITY_DS	0.000
ALONGTRACK_VELOCITY	7595.451
ALONGTRACK_VELOCITY_DS	0.000
PEG_UTC	55386.543

---

#### 4.1.3 Interferogram Pasangan Citra

*InSAR* memanfaatkan koheren dalam pengukuran fase untuk mendapatkan beda jarak dan perubahan jarak dari dua citra kompleks atau *SLC* pada permukaan yang sama. Dua data tersebut terdiri dari *master* (referensi) dan *slave*, keduanya diproses sehingga membentuk interferogram yang didalamnya berisi informasi *phase* dan *amplitude*.

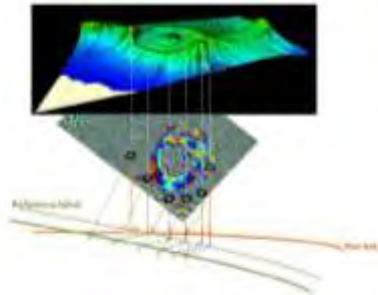


Gambar 4.2 Interferogram *Phase* Pasangan Citra  
Pair1(a), Pair2(b), dan Pair3 (c)

Gambar 4.2 merupakan interferogram dari pasangan citra yang masih mengandung efek topografi, deformasi dan *flat earth* (Sumantyo, J T S., 2012).

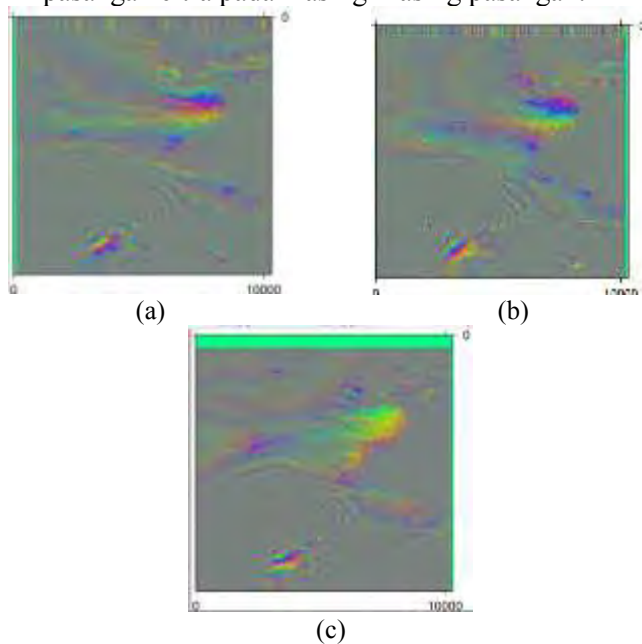
#### 4.1.4 Interferogram Hasil *Flattening*

Interferogram *phase* yang menggambarkan area penelitian masih mengandung unsur deformasi, topografi, *noise*, atmosfer serta dipengaruhi oleh pencitraan kesamping (*side looking*). Akibat *side looking* itu maka perlu dilakukan pendataran atau *side looking* ke bidang proyeksi (Kusma, 2008).



Gambar 4.3 Ilustrasi *Flattening Interferogram*  
(Sumber: Kusma, 2008)

Gambar 4.4 merupakan hasil pendataran pasangan citra pada masing-masing pasangan:

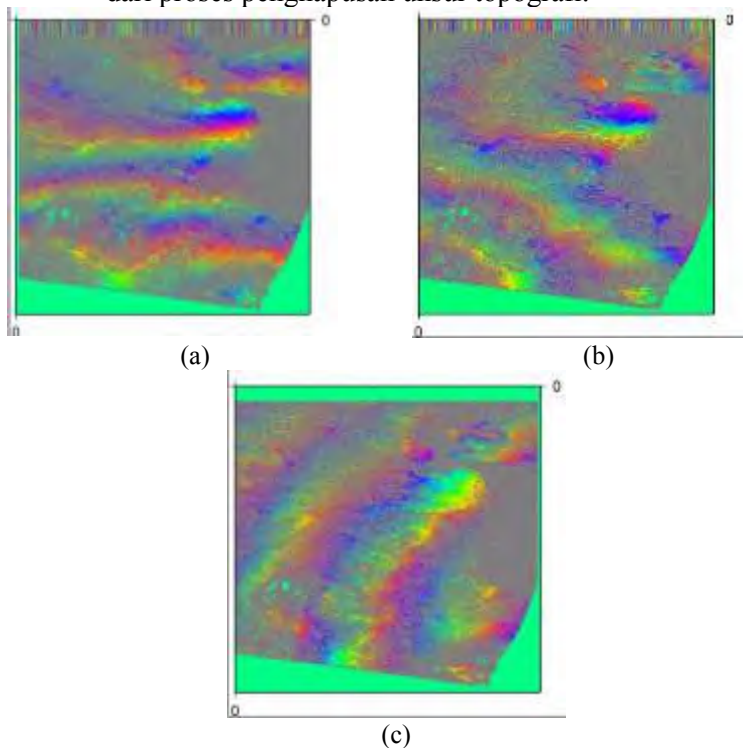


Gambar 4.4 Hasil *Flattening* Pasangan Citra Pair1 (a),  
Pair2 (b), dan Pair3 (c).



#### 4.1.5 *Removing Topography*

Karena hasil interferogram dari dua data SAR masih mengandung unsur topografi, maka diperlukan proses *removing topography*. Pada tahap ini dibutuhkan DEM SRTM yang sebelumnya telah dilakukan proses *resample* dan register. Gambar 4.5 merupakan salah satu hasil dari proses penghapusan unsur topografi.

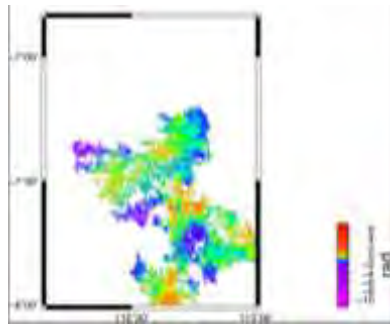


Gambar 4.5 Hasil Penghapusan Topografi Pasangan Citra Pair1 (a), Pair2 (b), dan Pair3 (c).

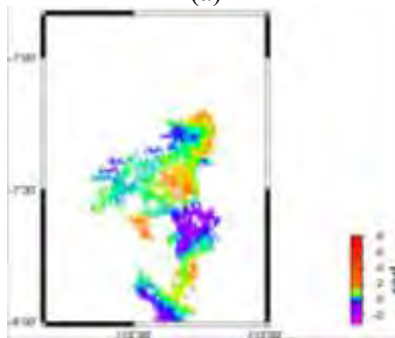
*Noise* dan *atmosfer* berhubungan dengan gangguan panas terhadap nilai fase yang didapatkan. Oleh karena itu pada proses ini dilakukan *filtering* dengan menaikkan nilai *Signal Noise to Ratio* (*SNR*). *SNR* merupakan ukuran kekuatan sinyal yang berhubungan dengan ukuran panas, dimana ukuran panas tersebut terjadi karena proses penguatan (*amplification*) saat penjarangan sinyal balik melalui medium udara atau atmosfer.

#### 4.1.6 Interferogram Setelah Phase Unwrapped

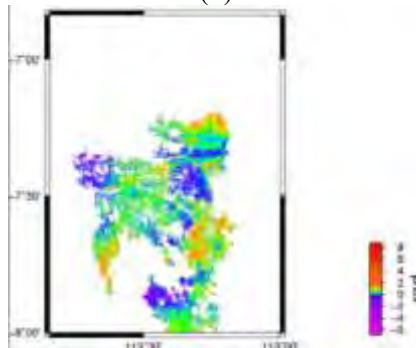
Hasil akhir dari tahap *InSAR processing* yang dilakukan di *ROI\_PAC* ini yaitu *unwrapped phase* yang telah digeoreferensikan. Warna yang terbaca dalam tiap pikselnya menunjukkan nilai perubahan *phase* dalam satuan radian. Nilai *phase* yang bervariasi menggambarkan adanya deformasi baik penurunan maupun kenaikan muka tanah pada daerah tersebut. Untuk *ALOS PALSAR* yang direkam secara *ascending* maka tiap *fringes* (tiap rentang  $2\pi$ ) mewakili perubahan permukaan dengan kisaran 11.8 cm (CIEST, 2011). Berikut hasil *phase unwrapped* citra Pair 1 (2008-2009) Pair 2 (2009-2010) dan Pair 3 (2010-2011):



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.6 Hasil *Phase Unwrapped* dan *Geocoding* Pair1 (a), Pair2 (b) dan Pair3 (c)

## 4.2 Analisa Hasil Pengolahan *DInSAR*

Kekuatan ketelitian pada metode *InSAR* tergantung pada banyak hal, contohnya akurasi orbit antara dua satelit dan kondisi atmosfer yang mempengaruhi *phase delay*. Pada prinsipnya perhitungan *surface displacement* memiliki ketelitian antara 2% - 5% dari panjang gelombang *SAR* yang dinyatakan dalam millimeter sampai sentimeter (Massonnet, 1998). Berikut analisa hasil pengolahan *DInSAR* yang dilihat dari beberapa faktor tertentu:

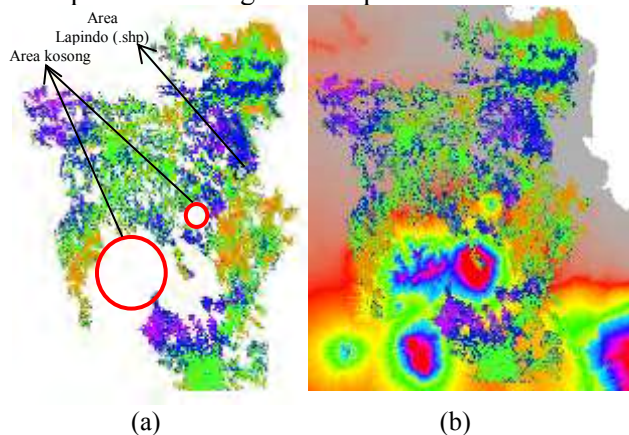
### 4.2.1 *Fringes* Pada Interferogram

Perbedaan *phase* antara dua pengamatan akan menghasilkan *fringes*. *Fringes* terdiri dari dua jenis yang terbentuk karena dua satelit orbit tidak sama persis. *Fringes* karena orbital dan topografi terjadi akibat perbedaan antara dua orbit dan adanya perubahan topografi, sedangkan *fringes* akibat gangguan sinyal terjadi ketika gelombang melalui ionosfer dan troposfer. Karena interferogram mengandung banyak dekorelasi didalamnya, maka untuk mendapatkan *fringes* akibat deformasi perlu dilakukan pengurangan *fringes* akibat topografi dengan data DEM SRTM sebagai acuan topografinya.

Dari hasil *DInSAR Processing* menunjukkan bahwa pengaruh topografi sudah dihilangkan namun masih mengandung *fringes* akibat ionosfer. Hal tersebut dikarenakan ketinggian orbit satelit *ALOS PALSAR* (band L) berada lebih dari 220 km. Sedangkan pengaruh orbit tidak dapat dihilangkan karena informasi lintasan satelit sering memiliki *margin of error* lebih dari 100 meter (Geospatial Information Authority of Japan (GSI), 2014).

#### 4.2.2 Faktor Geometri Daerah Pencitraan

Ketika gelombang mengenai permukaan bumi, maka energi akan diterima balik oleh sensor. Semakin cocok (*match*) antara citra 1 dan citra 2, maka sinyal balik yang diterima memiliki kualitas yang baik dan informasi lebih banyak. Gambar 4.7 menunjukkan kondisi dimana terdapat area kosong di beberapa titik.



Gambar 4.7 Kosongnya nilai *phase unwrapped* (a) dan Topografi Pada Area Penelitian (b)

Adanya *blank unwrapped* di beberapa area dikarenakan dekorelasi atau ketidaksesuaian area akibat selisih jarak temporal dan *baseline* yang terlalu jauh, kejadian seperti ini merupakan kejadian yang paling sering terjadi ketika *ROI\_PAC* memulai melakukan *unwrapping image* (WikiROIPAC).

*Blank unwrapped* juga terlihat pada daerah dataran tinggi atau pengunungan yang bersuhu rendah (dingin). Menurut studi korelasi interferogram, penyebab kosongnya informasi

pada daerah tersebut berkaitan dengan suhu permukaan. Suhu permukaan rendah (dibawah titik beku) dapat menurunkan tingkat korelasi atau *low coherence* sehingga pada daerah yang bersuhu dingin akan berubah menjadi konstanta dielektrik (Tobita & dkk, 1998).

#### 4.2.3 Estimasi *Baseline* dan Jarak Temporal

Panjang *baseline* merupakan faktor penting dalam mengamati deformasi dengan metode *DInSAR*. Begitu pula dengan jarak temporal dari dua akuisisi data *SAR* yang direkam dalam waktu yang berbeda. Oleh karena itu dalam pemilihan data perlu diperhatikan dua faktor tersebut. Berdasarkan perhitungan estimasi panjang *baseline* perpendicular, data *SAR* daerah Sidoarjo pasangan citra tahun 2010-2011 memiliki *baseline* terjauh sebesar -896.821m. Sedangkan berdasarkan *baseline* temporal dari data yang digunakan terpaut 11 hingga 13 bulan.

Semakin panjang *baseline perpendicular* antara citra *master* dan *slave*, maka tingkat koherensi akan terus menurun karena semakin jauh perbedaan posisi satelit dalam melakukan pencitraan maka nilai dari *incident angle* antar kedua posisi satelit juga akan semakin berbeda (Sari, 2014). Hal tersebut yang menyebabkan terjadinya *low coherence value*. Sedangkan semakin jauh jarak temporal dari dua data *SAR* akan menyebabkan dekorelasi temporal (ketidaksesuaian antara citra *master* dan *slave*). Dekorelasi temporal tersebut terjadi karena adanya perubahan pada topografi, vegetasi, serta gangguan atmosfer sehingga mengakibatkan perubahan pada karakteristik objek yang diamati.

#### 4.2.4 Nilai Koherensi

Hilangnya nilai piksel atau kosongnya informasi yang ditunjukkan pada hasil dari proses *unwrapped* disebabkan oleh rendahnya nilai koherensi pada kedua sata SAR. Batas nilai koherensi yang digunakan pada software *ROI\_PAC default* yakni 0.1 (Hayati & dkk), apabila nilai dibawah 0.1 maka secara langsung akan terhapus. Penyebab utama *low coherence* yang terjadi pada data SAR daerah Sidoarjo ini yaitu karena jarak *baseline* yang cukup jauh yakni lebih dari 500 m.

#### 4.2.5 Nilai Phase Unwrapped

Nilai beda phase yang ditunjukkan pada hasil pengolahan masih dalam rentang  $2\pi$ , maka untuk mendapatkan nilai perubahan dalam sentimeter dilakukan perhitungan sesuai dengan formula 8 (*displacement of earth's surface* sepanjang sensor *Line of Sight* (LOS)). Tiap rentang  $2\pi$  *ALOS PALSAR* yang direkam secara *ascending* mewakili perubahan permukaan berkisar 11.8 cm. Semakin mendekati *LOS* maka nilainya sebesar  $-\pi$  (kenaikan tanah), semakin menjauhi *LOS* maka bernilai  $2\pi$  (penurunan tanah).

Tabel 4.3 Nilai *Displacement of Earth's Surface* (cm)

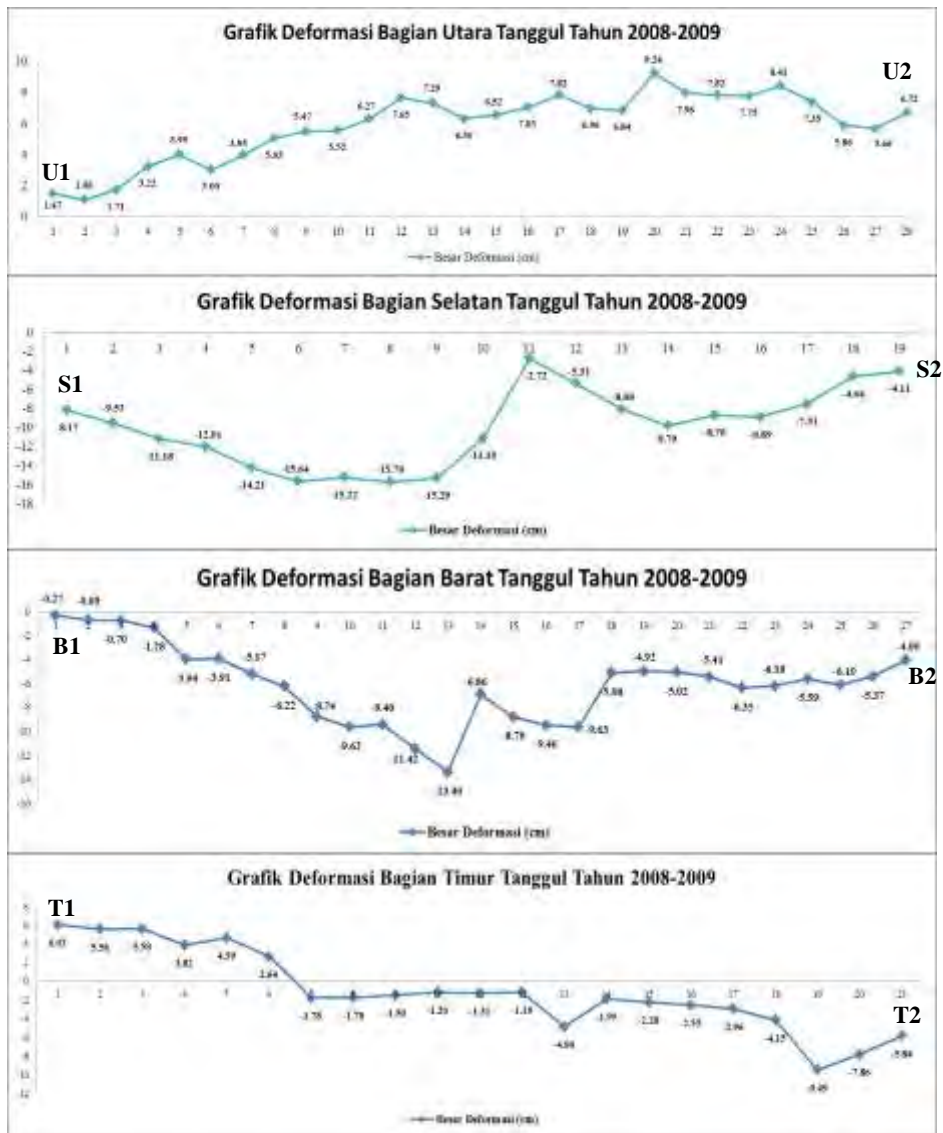
Nilai Phase (rad)	Nilai Phase (cm)	Deformasi Vertikal
$4\pi$	47.2	Turun ( <i>Subsidence</i> )
$2\pi$	11.8	
0	0	Tetap
$-2\pi$	-11.8	Naik ( <i>Uplift</i> )
$-4\pi$	-47.2	

Untuk melihat sebaran deformasi vertikal (*subsidence* dan *uplift*) yang terjadi di bagian Utara, Selata, Barat, dan Timur tanggul Lumpur Lapindo, maka dibuat *cross section* atau irisan melintang menggunakan *software ArcGis 10.2.2*.

Besar deformasi yang didapatkan dari hasil pengolahan citra *SAR* tahun 2008-2009, berikut Gambar 4.8 yang merupakan peta sebaran *cross section pair1* dan Gambar 4.10 merupakan grafik besar deformasi (cm/th) yang dapat diamati di sepanjang *cross section pair1*:







Gambar 4.9 Grafik Besar Deformasi Pair 1

Adapun besar nilai deformasi baik *uplift* maupun *subsidence* yang terjadi pada tiap sisi tanggul pada tahun 2008-2009 (cm/th) yakni sebagai berikut:

a. Utara (U1-U2)

Nilai deformasi hasil dari teknik *DInSAR* menunjukkan bahwa sepanjang *cross section* U1-U2 sebagian besar mengalami *uplift*. Nilai *uplift* ini berkisar antara 0 – 10 cm/th, nilai tertinggi mencapai 9.24 cm sedangkan *uplift* terendah 1.06 cm. Titik yang mengalami *uplift* tersebar di sekitar Desa Kalidawir dan Gempolsari.

b. Selatan (S1-S2)

Kondisi deformasi di sepanjang *cross section* S1-S2 menunjukkan adanya *subsidence* antara 0 - -20 cm/th. Nilai *subsidence* tertinggi -15.70 cm sedangkan *subsidence* terendah -2.72 cm. Titik yang mengalami *subsidence* terbesar berada di sekitar Desa Mindi dan Pejarakan.

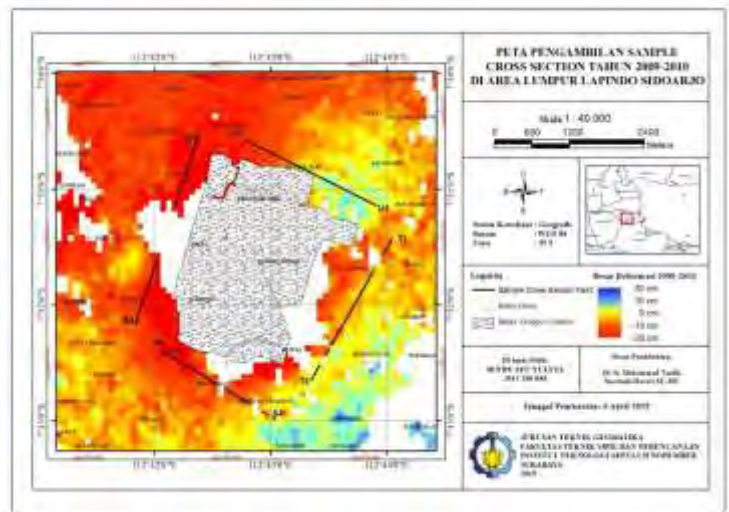
c. Barat (B1-B2)

Bagian barat rata-rata mengalami penurunan tanah dalam radius 1.5 km, yakni berkisar 0 - -15 cm/th . Nilai *subsidence* terendah -0.27 cm sedangkan *subsidence* tertinggi -13.40 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Ketapang, Siring Barat, Jatirejo dan Gedang.

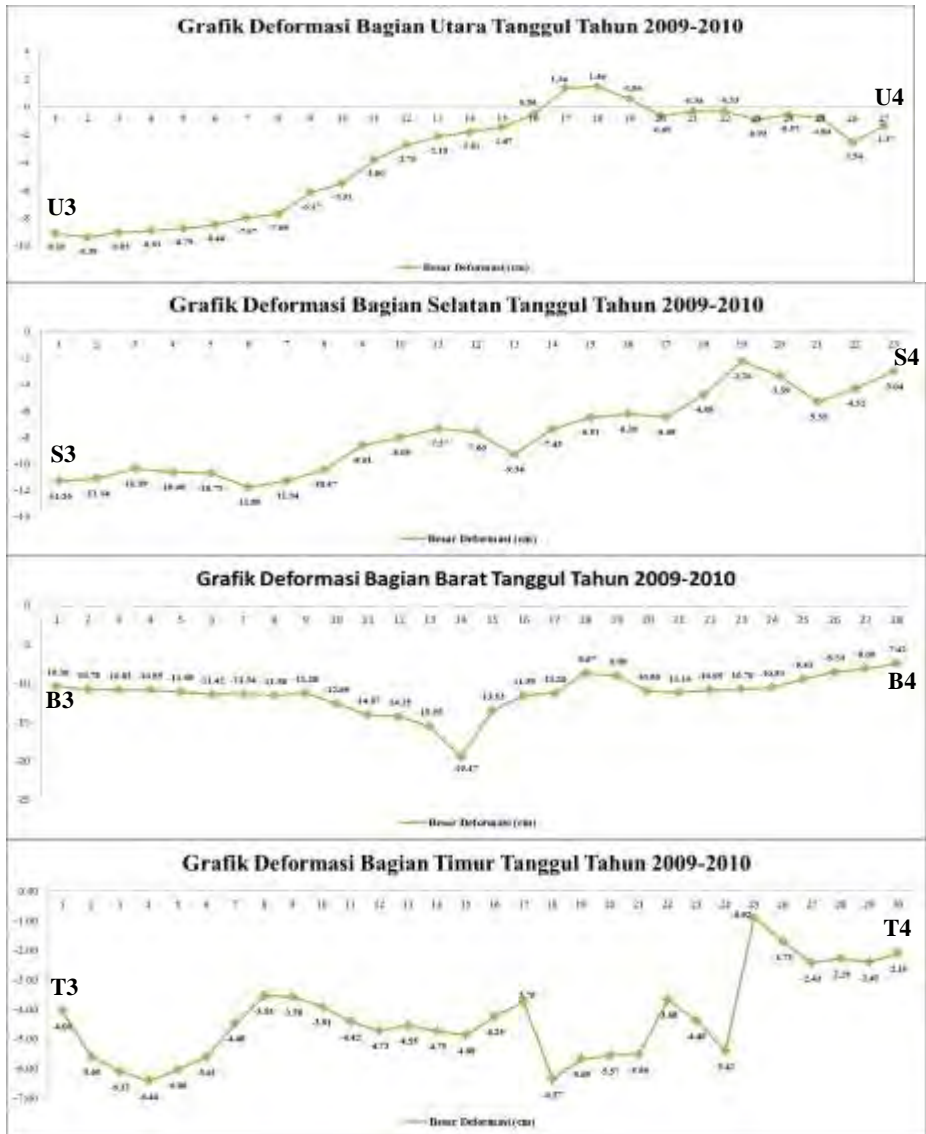
d. Timur (T1-T2)

Pada bagian Timur ada beberapa tempat yang mengalami *uplift* dan beberapa mengalami *subsidence*. Di sepanjang *cross*

Untuk mengetahui besar deformasi yang didapatkan dari hasil pengolahan citra *SAR* tahun 2009-2010, berikut Gambar 4.10 yang merupakan peta sebaran *cross section pair2* dan Gambar 4.11 merupakan grafik besar deformasi (cm/th) yang dapat diamati di sepanjang *cross section pair2*:



Gambar 4.10 Peta Sebaran *Cross section Pair2*



Gambar 4.11 Grafik Besar Deformasi Pair 2

a. Utara (U3-U4)

Nilai deformasi menunjukkan bahwa sepanjang *cross section* U3-U4 sebagian besar mengalami *subsidence*, namun di area Desa Kalidawir (Timur Laut) terjadi *uplift*. Nilai *uplift* ini berkisar antara 0 – 5 cm/th, sedangkan *subsidence* antara 0 - -10 cm /th di sepanjang Desa Kalitengah dan Gempolsari.

b. Selatan (S3-S4)

Kondisi deformasi pada bagian Selatan atau di sepanjang *cross section* S3-S4 menunjukkan adanya *subsidence* antara 0 - -15 cm/th. Nilai *subsidence* tertinggi -11.80 cm sedangkan *subsidence* terendah -2.62 cm. Titik yang mengalami *subsidence* terbesar berada di sekitar Desa Mindi dan Pejajaran.

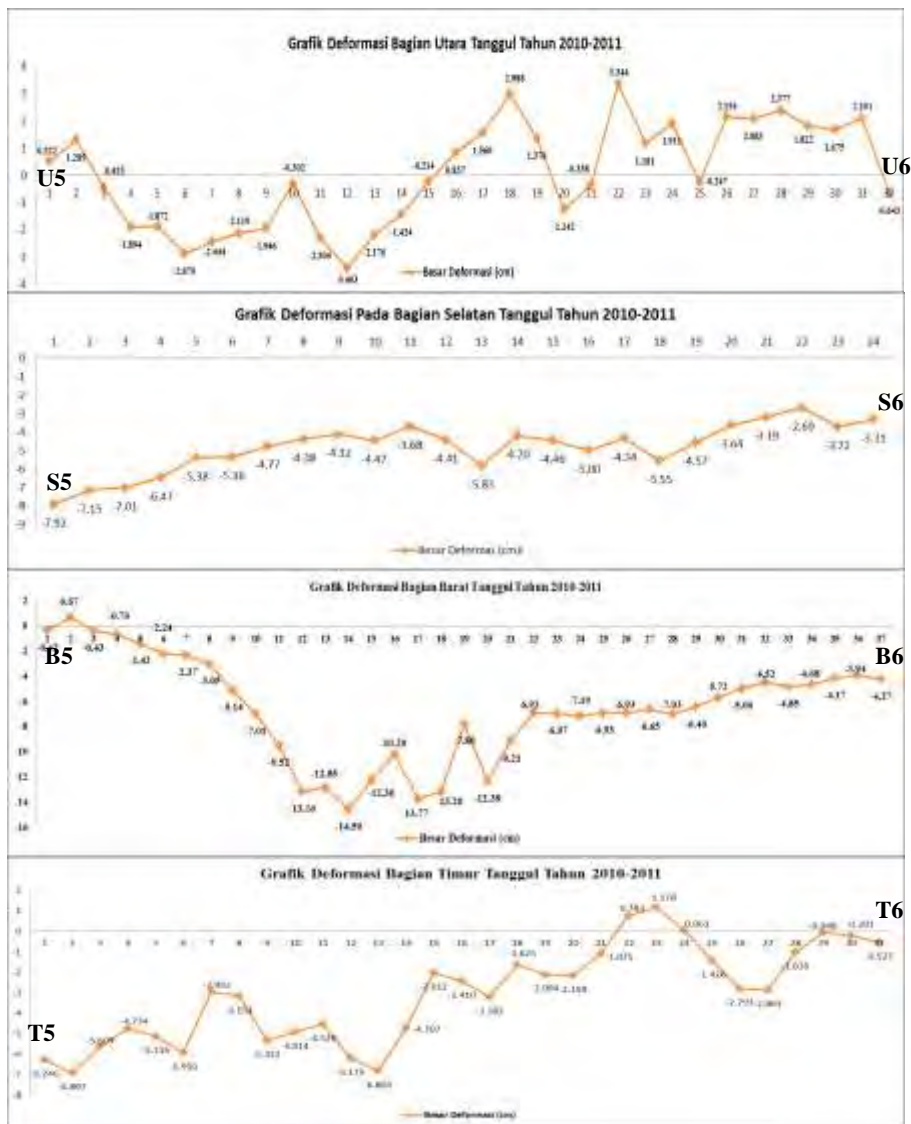
c. Barat (B3-B4)

Di sepanjang *cross section* B3-B4 bagian barat mengalami penurunan tanah yang cukup tinggi yakni berkisar 0 - -20 cm/th. Nilai *subsidence* terendah -7.42 cm sedangkan *subsidence* tertinggi -19.47 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Ketapang, Siring Barat, Pamotan dan Gedang.

d. Timur (T3-T4)

Di sepanjang *cross section* T3-T4 bagian Timur mengalami *subsidence*, besar *subsidence* antara 0 - -10 cm/th. Nilai *subsidence* terendah -0.92 cm sedangkan *subsidence* tertinggi -6.44 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Glagaharum, Renokenongo, dan Besuki.





Gambar 4.13 Grafik Besar Deformasi Pair 3

Besar nilai deformasi baik *uplift* maupun *subsidence* yang terjadi pada tiap sisi tanggul pada tahun 2010-2011 yaitu sebagai berikut:

a. Utara (U5-U6)

Desa Kalitengah, GempolSari dan Kalidawir sebagian besar mengalami *subsidence* yaitu 0 - -5cm/ th, *subsidence* tertinggi -3.4 cm sedangkan terendah -0.21 cm. Sedangkan di Desa GempolSari sebagian yang letaknya di timur laut tanggul mengalami *uplift* yaitu antara 0-5 cm/th, *uplift* tertinggi 3.34 cm, terendah 0.52 cm.

b. Selatan (S5-S6)

Kondisi deformasi di sepanjang *cross section* S5-S6 menunjukkan adanya *subsidence* namun nilainya menurun dibanding tahun sebelumnya yakni antara 0 - -10 cm/th. Nilai *subsidence* tertinggi -7.92 cm sedangkan *subsidence* terendah -2.69 cm. Titik yang mengalami *subsidence* terbesar tetap yaitu berada di sekitar Desa Mindi dan Pejarakan.

c. Barat (B5-B6)

Skala penurunan tanah yang terjadi pada tahun 2010-2011 memiliki rentang 0 - -15 cm/th. Nilai *subsidence* terendah -0.42 cm sedangkan *subsidence* tertinggi -14.49 cm. Titik yang mengalami *subsidence* tersebar di Desa Ketapang, Siring, Jatirejo dan Gedang.

d. Timur (T5-T6)

Di sepanjang *cross section* T5-T6 rata-rata seluruh area mengalami *subsidence* antara 0 - -10 cm/th. Nilai *subsidence* terendah -0.05 cm sedangkan *subsidence* tertinggi -6.9 cm.



#### 4.4 Perbandingan Analisa Deformasi Dengan Penelitian Terkait

Dalam penelitian ini didapatkan bahwa skala deformasi yang terjadi di daerah Lapindo pada tahun 2008 sampai 2011 yakni 0 - -20 cm/th untuk *subsidence* dan 0 - 10 cm/th untuk *uplift*. Diketahui juga bahwa di bagian Selatan dan Barat tanggul cenderung mengalami penurunan tanah, dibagian Utara cenderung mengalami *uplift*, sedangkan bagian Timur terjadi penurunan tanah namun di beberapa titik ditemukan *uplift*. Tabel 4.4 merupakan perbandingan besar deformasi yang terjadi pada tahun 2008-2009, 2009-2010 dan 2010-2011 berdasarkan masing-masing bagian.

Tabel 4.4 Besar Deformasi Tahun 2008-2011

Bagian	2008-2009		2009-2010		2010-2011	
	<i>Uplift</i> (cm/th)	<i>Subsidence</i> (cm/th)	<i>Uplift</i> (cm/th)	<i>Subsidence</i> (cm/th)	<i>Uplift</i> (cm/th)	<i>Subsidence</i> (cm/th)
Utara	0 - -10	-	0 - 5	0 - -10	0 - 5	0 - -5
Selatan	-	0 - -20	-	0 - -15	-	0 - -10
Barat	-	0 - -15	-	0 - -20	-	0 - -15
Timur	0 - 10	0 - -10	-	0 - -10	0 - 10	0 - -10

Untuk mengetahui kebenaran nilai deformasi dari beberapa penelitian lain, berikut penjelasannya:

- a. Penelitian LPPM, didapatkan prakiraan besar deformasi Lumpur Lapindo tahun 2007 – 2008 yang diukur menggunakan metode GPS (*Global Positioning System*) yaitu sebagai berikut (Widodo, 2009):

Tabel 4.5 Prakiraan *Subsidence* dari Pengukuran GPS

Desa	Bagian	Pengukuran GPS (LPPM 2007-2008)
Pamotan	Barat	-30 – -40 cm
Gedang	Selatan	-20 – -30 cm
Ketapang	Barat Laut	-5 - -10 cm
Glagaharum	Timur	-5 – -10 cm
GempolSari	Utara	-5 – -10 cm

- b. Hasil pengukuran GPS menunjukkan pada sisi utara cenderung *uplift* dan terjadi pergeseran horizontal kearah timur Desa Kalidawir. Pengukuran bulan Juni-Juli 2008 didapatkan nilai *uplift* pada sebesar 5 cm (Cahyono, 2010).
- c. Hasil pengukuran GPS bulan Mei – September 2011 di beberapa titik (Bukhori, 2012):

Tabel 4.6 Besar Deformasi dari Pengukuran GPS  
(Sumber: Bukhori, 2012)

Titik	Desa/ Bagian	Cenderung Naik/Turun	Deformasi Tertinggi
PT01	Kalidawir/ Timur Laut	Naik	7,2 cm
BW08	Gempolsari/ Utara	Turun	-2,1 cm
VK13	Pejarakan/ Selatan	Naik	3,5 cm
1305	Mindi/ Selatan	Turun	-2,2 cm
BW13	Mindi/ Selatan	Turun	-5,3 cm
BT03	Siring/ Barat	Turun	-4,4 cm
BT01	Kalitengah/ Barat Laut	Turun	-6,4 cm
VK09	Glagaharum/ Timur	Turun	-3,8 cm
ESDM	Pamotan/Barat	Turun	-9,7 cm

- d. Hasil pengukuran metode *InSAR* didapatkan bahwa pada bagian utara pada tahun 2006-2008 terjadi kenaikan muka tanah (*uplift*) dengan rentang 0-20 cm, sedangkan di bagian selatan terjadi *land subsidence* dengan rentang 0 - -20 cm (Darminto, 2015).

Hasil yang didapatkan sesuai dengan tabel 4.4 bahwa rata-rata penurunan tanah yang terjadi pada penelitian ini mencapai -20 cm/th atau 0.05 cm/hari. Nilai tersebut menurun dibandingkan dengan penelitian oleh Abidin&dkk yang menyebutkan bahwa deformasi yang terjadi di lumpur Lapindo Sidoarjo pada bulan Juni 2006 hingga September 2007 termasuk kedalam penurunan signifikan mencapai 0.1 – 0.4 cm/ hari, dan diperkirakan stabil ditahun 3 – 10 tahun mendatang (Abidin & dkk, 2008). Dan penelitian lain juga menyebutkan bahwa deformasi pada tahun berikutnya yaitu 2007 hingga semakin mengecil dan hanya terjadi pada area radius  $\pm 1.5$  km dari pusat semburan (Suliantara & Febriono, 2008).

Sedangkan jika dibandingkan antara tabel 4.4 dan tabel 4.6 bahwa pola deformasi di beberapa titik antara pengamatan *DInSAR* (2010-2011) dan pengukuran oleh Imam Bukhori menggunakan GPS (Mei-September 2011) hampir sama namun nilai deformasinya berbeda. Sesuai dengan tabel 4.6 bahwa pada tahun 2011 titik yang berada di utara mengalami *subsidence*, bagian timur laut mengalami *uplift*, sedangkan sebagian besar di bagian barat, selatan, serta timur cenderung mengalami *subsidence*.

Perbedaan *displacement* yang didapatkan dari pengukuran *GPS* dan data *SAR* dikarenakan faktor berikut:

- a. Perbedaan waktu perekaman data *SAR* dengan data *GPS*
- b. Perbedaan prinsip pengukuran jarak, *SAR* berdasarkan perbedaan *phase* dimana deformasi dilihat dari *LOS* (1D) sedangkan *GPS* berdasarkan penentuan posisi titik (3D) dari pengamatan metode pengikatan kebelakang.

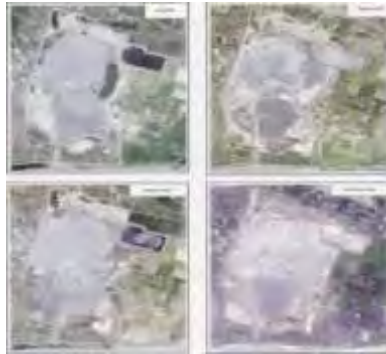
- c. Presisi dari pengukuran *DInSAR* masih dalam sub-sentimeter. Bagaimanapun interferogram yang didalamnya masih mengandung kesalahan akibat orbit, ionosfer, dan perubahan kondisi topografi, sehingga teknik ini belum dapat dikatakan sebagai teknik pengukuran *ground movement* yang akurat.
- d. Kekuatan ketelitian pada metode *InSAR* tergantung pada banyak hal, contohnya akurasi orbit antara dua satelit dan kondisi atmosfer yang mempengaruhi *phase delay*.

Dibandingkan dengan pengukuran *GPS*, *DInSAR* memiliki kelebihan diantaranya:

- a. Teknik *DInSAR* mampu mengidentifikasi atau menggambarkan pola deformasi secara general.
- b. *DInSAR* menggunakan data dari satelit *SAR* yang mampu mengkover puluhan kilometer area dalam satu kali observasi tanpa peralatan survei, sehingga memudahkan peneliti dalam mengamati deformasi di area yang sulit diakses.

Indikator terjadinya defomasi tanah berkaitan dengan fenomena geologi dan geofisika, diantaranya:

- a. Awal tahun 2009 tanggul cincin yang terdapat di bagian tengah sebagian mulai amblas dan tertutupi endapan lumpur. Endapan tersebut mengarah ke utara dan timur laut dan semakin melebar sampai ke wilayah Renokenongodi bagian timur (Zaennudin & dkk, 2010).



Gambar 4.14 Sebaran Lumpur Bulan Juni-Desember 2008  
(Sumber : Zaennudin&dkk, 2010)

- b. Posisi garis retakan atau patahan yang memanjang dari arah timur ke barat pusat semburan menyebabkan kawasan sebelah barat semburan lebih rentan mengalami penurunan tanah. Sedangkan penurunan tanah di sebelah utara, timur dan selatan pusat semburan pergerakannya lebih lambat (Zulkarnain, 2010).
- c. Menurut penelitian geofisika dengan metoda georadar, geolistrik, dan seismik pantul mengindikasikan adanya sejumlah retakan di Siring bagian barat, Ketapang, Mindi, dan Kali Tengah. Retakan-retakan tersebut akan membentuk jalan dimana gas muncul ke permukaan atau biasa disebut munculnya *buble* (Zaennudin & dkk, 2010).

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisa deformasi di lumpur lapindo akibat keluarnya aliran lumpur ke atas permukaan, maka didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

- a. Penerapan metode *DInSAR* baik digunakan dalam mengamati deformasi di area Lumpur Lapindo dengan ketelitian sub-sentimeter. Teknik ini belum dapat dikatakan sebagai teknik pengukuran *ground movement* yang akurat, namun teknik *DInSAR* mampu menggambarkan pola deformasi secara general.
- b. Pola deformasi yang didapatkan dari hasil *DInSAR* pada penelitian ini menunjukkan bahwa bagian Utara tanggul Lapindo cenderung mengalami *uplift* pada tahun 2008-2009 sedangkan Barat, Selatan, dan Timur mengalami *subsidence*. Sedangkan pada tahun 2009 sampai 2011 sebagian besar mengalami *subsidence* namun penurunannya semakin lamban.
- c. Deformasi yang terjadi pada tahun 2008-2011 memiliki rentang 0 – 10 dan 0 - -10 cm di bagian Utara, 0 - -20 cm di bagian Selatan, 0 - -20 cm di bagian Barat, dan 0 – 10 dan 0 - -10 cm di bagian Timur tanggul Lapindo.
- d. Penurunan tanah yang terjadi antara tahun 2008-2011 terbilang menurun dengan rata-rata nilai penurunan 20 cm/tahun atau 0.05 cm/hari.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengolahan data dan kesimpulan yang diperoleh, beberapa saran yang dapat diberikan antara lain:

- a. Untuk mencegah rendahnya koherensi akibat dekorelasi temporal maka diperlukan data dalam jumlah yang banyak dengan jarak temporal dan *baseline* yang berdekatan. Untuk jarak temporal tidak lebih dari 6 bulan, sedangkan jarak *baseline* antara 400-600 m.
- b. Sebaiknya gunakan teknik yang lebih akurat untuk penelitian selanjutnya, yaitu teknik *PS-InSAR* (*Persistent Scatterer Interferometry SAR*), karena pengolahan data *SAR* dengan teknik *DInSAR* masih memiliki kesalahan atau dekorelasi berupa dekorelasi temporal, atmosferik, serta *noise*.
- c. Dianjurkan untuk penelitian selanjutnya menyajikan data GPS serta melakukan uji validasi untuk mengetahui keakuratan nilai deformasi hasil dari pengolahan teknik *DInSAR*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, H. Z., & dkk. (2008). *Subsidence and Uplift of Sidoarjo (East Java) Due to the Eruption of The Lusi Mud Volcano (2006-present)*. Deguchi School Springer, Verlag.
- Abidin, Z. (2013). *Analisis dan Simulasi Parameter Radar Terhadap Performansi Synthetic Aperture Radar pada Tahap Awal Pencitraan Sensor Radar*. Malang: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- Buckley, S., & Austin, U. (2000). *ROI\_PAC Documentation Repeat Orbit Interferometry Package. Version 1.1 A bridge version of Chapter 3 of a PhD thesis*.
- Bukhori, I. (2012). *Model Estimasi Uplift dan Subsidence dari Hasil Ukuran GPS Menggunakan Metode Polinomial di Area Lumpur Sidoarjo*. Surabaya: Jurusan Teknik Geomatika, ITS.
- Cahyono, A. E. (2010). *Evaluasi hasil pemantauan Land Subsidence di Sekitar Area Tanggul Lumpur Sidoarjo Dengan Teknologi SIG*. Surabaya: Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Chen, Y. (2002). Monitoring Earth Surface Deformations with InSAR Technology: Principle and Some critical Issues. *Journal of Geospatial Engineering*, Vol.2, No.1, pp. 3-21.
- Darminto, M. R. (2015). *Evaluasi Sebaran Deformasi Tanah Daerah Lumpur Sidoarjo Dengan Metode Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DInSAR)*.

- Surabaya: Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Feigl, K., & D, M. (1998). Radar interferometry and its application to changes in the Earth's surface. *Rev. Geophys*, 36, 441-500.
- Geospatial Information Authority of Japan (GSI). (2014). Dipetik 12 Juli, 2015, dari <http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/qanda/qanda-e.html>
- Hanssen, R. (2001). *Radar Interferometry: Data Interpretation and Error Analysis*. London: Kluwer Academic Publisher. The Netherlands: Delft University of Technology.
- Hardi, A. H. (2008). *Studi Pemanfaatan Band yang Berbeda pada InSAR (Interferometric Synthetic Aperture Radar)*. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian Institut Teknologi Bandung.
- Hartl, P. (1996). *Synthetic Aperture Radar, Theory and Applications*. Faculty of Geodesy-Delft University of Technology, Lecture Note.
- Indra. (2011). *Penggunaan Dual Pass Differential InSAR untuk Pemantauan Deformasi (Studi Kasus: SeSAR Palu-Koro)*. Program Studi Teknik Geodesi dan Geomatika Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian Institut Teknologi Bandung.
- Ismullah, I. H. (2004). Pengolahan Fasa untuk Mendapatkan Model Tinggi Permukaan Dijital (DEM) pada Radar Aperture Sintetik Interferometri (*InSAR*) Data Satelit. *ITB Sains & Tek. Vol. 36 A, No.1*, 11-32.

- Japan Space System*. (2012). Retrieved May 05, 2015, from <http://gds.PALSAR.ersdac.jspacesystems.or.jp/e/about/sensor/>
- Kusma, A. (2008). *Pengolahan Data SAR dengan ROI\_PAC*. Bandung: ITB.
- Kusman, A. (2008). *Studi Deformasi Gunung Api Batur dengan Menggunakan Teknologi SAR Interferometri (InSAR)*. Bandung: Teknik Geodesi dan Geomatika, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, Institut Teknologi Bandung.
- Lusch, D. P. (1999). *Introduction to Microwave Remote Sensing*. Michigan State University: Center For Remote Sensing and Geographic Information Science.
- Massonnet, D. (1998). Radar Interferometry and Its Application To Changes In The Earth's Surface. *Reviews of Geophysics* 36,4, 441–500.
- Sacristan, O. (2004). *Advanced Differential Interferometric SAR Techniques For Detection Terrain and Building Displacement*. Dh.D Dissertation. Universitat Politecnica De Catalunya.
- Sari, A. R. (2014). *Metode Differential Interferometry Synthetic Aperture Radar (DINSAR) untuk Analisa Deformasi Di Daerah Rawan Bencana Gempa Bumi (Studi Kasus : Kepulauan Mentawai, Sumatera Barat)*. Surabaya: Jurusan Teknik Geomatika Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Sharav, A. (2003). *Differential SAR Interferometry for Crustal Deformation Study*. Netherlands: International Institute For Geo-Information Science and Earth Observation.

- Sousa, J. J. (2009). *Potential of Integrating PSI Metodologies in The Detection of Surface Deformation*. Department of Applied Mathematics of The Faculty of Sciences University Of Porto.
- Suliantara, & Febriono, P. D. (2008). *Monitoring Semburan Lumpur Sidoarjo*. Jakarta: Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral, Pusat Penelitian dan Pengembangan Minyak dan Gas Bumi (LEMIGAS).
- Susantoro, T. M. (2011). Identifikasi Kondisi Terkini Semburan Lumpur Sidoharjo dari Citra Penginderaan Jauh. *Jurnal INDERAJA LAPAN. Volume II, No.2, Juli 2011*, Hal 27 – 35.
- Tobita, M., & dkk. (1998). Deformation of the 1995 North Sakhalin Earthquake Detected by JERS-1/SAR Interferometry. *Earth Planets Place*, 50, 313-325.
- Tomiyaama, N. (2010). *Microwave Remote Sensing With Focuses on Forestry and Agriculture* (6-10 November ed.). Hanoi, Vietnam: ISPRS Students Consorsium and WG VI/5 5th Summer School.
- Widodo, A. d. (2009). *Penanggulangan Semburan Lumpur Sidoarjo*. Surabaya: Pusat Studi Kebumian dan Bencana (PSKB) Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS).
- WikiROI PAC. (n.d.). Retrieved 03 04, 2010, from <http://faculty.washington.edu/dasc/WikiRoiPac/badseed>
- Zaennudin, A., & dkk. (2010). *Fenomena Geologi Seemburan Lumpur Sidoarjo*. Bandung: Badan Geologi .

Zulkarnain, A. (2010, Mei Rabu). Retrieved from  
news.okezone.com:  
[http://news.okezone.com/read/2010/05/05/340/329735  
/penurunan-tanah-di-lumpur-lapindo-sepanjang-1-5-  
km](http://news.okezone.com/read/2010/05/05/340/329735/penurunan-tanah-di-lumpur-lapindo-sepanjang-1-5-km)

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***

## **Lampiran 1**

### **Informasi *Raw Data***

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***



## Raw Data Citra Tahun 2008

FIRST_FRAME	7030
FIRST_FRAME_SCENE_CENTER_TIME	
20080217151953708	
FIRST_FRAME_SCENE_CENTER_LINE	0
DATE	080217
FIRST_LINE_YEAR	2008
FIRST_LINE_MONTH_OF_YEAR	02
FIRST_LINE_DAY_OF_MONTH	17
FIRST_CENTER_HOUR_OF_DAY	15
FIRST_CENTER_MN_OF_HOUR	19
FIRST_CENTER_S_OF_MN	53
FIRST_CENTER_MS_OF_S	708
PROCESSING_SYSTEM	ALOS-DPS
PROCESSING_VERSION	1.00
WAVELENGTH	0.236057
PULSE_LENGTH	2.7e-05
CHIRP_SLOPE	-10370400000000
I_BIAS	15.5
Q_BIAS	15.5
PLATFORM	ALOS
BEAM	34.3
POLARIZATION	HH
ORBIT_NUMBER	11006
RANGE_BIAS	0
STARTING_RANGE	848815
RANGE_PIXEL_SIZE	4.68425715625
PRF	2145.923
ANTENNA_SIDE	-1
ANTENNA_LENGTH	8.9
FILE_LENGTH	35193
XMIN	413
XMAX	21020
WIDTH	21100
YMIN	0
YMAX	35193
RANGE_SAMPLING_FREQUENCY	32000000
PLANET_GM	398600448073000
PLANET_SPINRATE	7.29211573052e-
05	
FIRST_LINE_UTC	55193.708
CENTER_LINE_UTC	55201.9079680324
LAST_LINE_UTC	55210.1079360648
HEIGHT_TOP	699531.433354262
HEIGHT	699414.156285261
HEIGHT_DT	-
14.3021373422379	
VELOCITY	7595.52185420265

LATITUDE	-
8.95990499498551	
LONGITUDE	108.376936635306
HEADING	-
12.0460326577169	
EQUATORIAL_RADIUS	6378137
ECCENTRICITY_SQUARED	
0.00669437999014132	
EARTH_EAST_RADIUS	6378654.8996084
EARTH_NORTH_RADIUS	6336817.78686596
EARTH_RADIUS	6338626.17232399
ORBIT_DIRECTION	ascending
DOPPLER_AMBGTY	0
DOPPLER_RANGE0	0.01898
DOPPLER_RANGE1	-3.9568e-06
DOPPLER_RANGE2	1.7111e-10
DOPPLER_RANGE3	0.
SQUINT	0.0640001858656864

## Raw Data Citra Tahun 2009

FIRST_FRAME	7030
FIRST_FRAME_SCENE_CENTER_TIME	2009010415213493
FIRST_FRAME_SCENE_CENTER_LINE	0
DATE	090104
FIRST_LINE_YEAR	2009
FIRST_LINE_MONTH_OF_YEAR	01
FIRST_LINE_DAY_OF_MONTH	04
FIRST_CENTER_HOUR_OF_DAY	15
FIRST_CENTER_MN_OF_HOUR	21
FIRST_CENTER_S_OF_MN	3
FIRST_CENTER_MS_OF_S	493
PROCESSING_SYSTEM	ALOS-DPS
PROCESSING_VERSION	1.00
WAVELENGTH	0.236057
PULSE_LENGTH	2.7e-05
CHIRP_SLOPE	-10370400000000
I_BIAS	15.5
Q_BIAS	15.5
PLATFORM	ALOS
BEAM	34.3
POLARIZATION	HH
ORBIT_NUMBER	15703
RANGE_BIAS	0
STARTING_RANGE	848965
RANGE_PIXEL_SIZE	4.68425715625
PRF	2145.923
ANTENNA_SIDE	-1

ANTENNA_LENGTH	8.9
FILE_LENGTH	35193
XMIN	413
XMAX	21020
WIDTH	21100
YMIN	0
YMAX	35193
RANGE_SAMPLING_FREQUENCY	32000000
PLANET_GM	398600448073000
PLANET_SPINRATE	7.29211573052e-
05	
FIRST_LINE_UTC	55263.493
CENTER_LINE_UTC	55271.6929680324
LAST_LINE_UTC	55279.8929360648
HEIGHT_TOP	699586.549285868
HEIGHT	699469.297927909
HEIGHT_DT	-
14.2990018371026	
VELOCITY	7596.03885106061
LATITUDE	-
8.95868154454144	
LONGITUDE	108.384167618484
HEADING	-12.105558759801
EQUATORIAL_RADIUS	6378137
ECCENTRICITY_SQUARED	
0.00669437999014132	
EARTH_EAST_RADIUS	6378654.75931984
EARTH_NORTH_RADIUS	6336817.41722447
EARTH_RADIUS	6338643.46768412
ORBIT_DIRECTION	ascending
DOPPLER_AMBGTY	0
DOPPLER_RANGE0	0.0081153
DOPPLER_RANGE1	-1.8441e-06
DOPPLER_RANGE2	2.9085e-11
DOPPLER_RANGE3	0.
SQUINT	0.0273571035568916

## Raw Data Citra Tahun 2010

FIRST_FRAME	7030
FIRST_FRAME_SCENE_CENTER_TIME	
20100222152258445	
FIRST_FRAME_SCENE_CENTER_LINE	0
DATE	100222
FIRST_LINE_YEAR	2010
FIRST_LINE_MONTH_OF_YEAR	02
FIRST_LINE_DAY_OF_MONTH	22
FIRST_CENTER_HOUR_OF_DAY	15

FIRST_CENTER_MN_OF_HOUR	22
FIRST_CENTER_S_OF_MN	58
FIRST_CENTER_MS_OF_S	445
PROCESSING_SYSTEM	ALOS-DPS
PROCESSING_VERSION	1.00
WAVELENGTH	0.236057
PULSE_LENGTH	2.7e-05
CHIRP_SLOPE	-1037040000000
I_BIAS	15.5
Q_BIAS	15.5
PLATFORM	ALOS
BEAM	34.3
POLARIZATION	HH
ORBIT_NUMBER	21742
RANGE_BIAS	0
STARTING_RANGE	848815
RANGE_PIXEL_SIZE	4.68425715625
PRF	2141.328
ANTENNA_SIDE	-1
ANTENNA_LENGTH	8.9
FILE_LENGTH	35118
XMIN	413
XMAX	21020
WIDTH	21100
YMIN	0
YMAX	35118
RANGE_SAMPLING_FREQUENCY	32000000
PLANET_GM	398600448073000
PLANET_SPINRATE	7.29211573052e-
05	
FIRST_LINE_UTC	55378.445
CENTER_LINE_UTC	55386.6450515568
LAST_LINE_UTC	55394.8451031136
HEIGHT_TOP	699582.042977002
HEIGHT	699464.130266482
HEIGHT_DT	-
14.3795084339238	
VELOCITY	7595.61608868158
LATITUDE	-
8.95964985880544	
LONGITUDE	108.378331202087
HEADING	-
12.0612931680409	
EQUATORIAL_RADIUS	6378137
ECCENTRICITY_SQUARED	
0.00669437999014132	
EARTH_EAST_RADIUS	6378654.87035134
EARTH_NORTH_RADIUS	6336817.71101533

EARTH_RADIUS	6338630.61682196
ORBIT_DIRECTION	ascending
DOPPLER_AMBGTY	0
DOPPLER_RANGE0	0.017113
DOPPLER_RANGE1	-2.7664e-06
DOPPLER_RANGE2	7.5318e-11
DOPPLER_RANGE3	0.
SQUINT	0.0575891238856984

## Raw Data Citra Tahun 2011

FIRST_FRAME	7030
FIRST_FRAME_SCENE_CENTER_TIME	
20110110151858729	
FIRST_FRAME_SCENE_CENTER_LINE	0
DATE	110110
FIRST_LINE_YEAR	2011
FIRST_LINE_MONTH_OF_YEAR	01
FIRST_LINE_DAY_OF_MONTH	10
FIRST_CENTER_HOUR_OF_DAY	15
FIRST_CENTER_MN_OF_HOUR	18
FIRST_CENTER_S_OF_MN	58
FIRST_CENTER_MS_OF_S	729
PROCESSING_SYSTEM	ALOS-DPS
PROCESSING_VERSION	1.00
WAVELENGTH	0.236057
PULSE_LENGTH	2.7e-05
CHIRP_SLOPE	-10370400000000
I_BIAS	15.5
Q_BIAS	15.5
PLATFORM	ALOS
BEAM	34.3
POLARIZATION	HH
ORBIT_NUMBER	26439
RANGE_BIAS	0
STARTING_RANGE	848815
RANGE_PIXEL_SIZE	4.68425715625
PRF	2145.923
ANTENNA_SIDE	-1
ANTENNA_LENGTH	8.9
FILE_LENGTH	35193
XMIN	413
XMAX	21020
WIDTH	21100
YMIN	0
YMAX	35193
RANGE_SAMPLING_FREQUENCY	32000000
PLANET_GM	398600448073000

PLANET_SPINRATE	7.29211573052e-
05	
FIRST_LINE_UTC	55138.729
CENTER_LINE_UTC	55146.9289680324
LAST_LINE_UTC	55155.1289360648
HEIGHT_TOP	699490.526520887
HEIGHT	699372.983232253
HEIGHT_DT	-
14.3346032776845	
VELOCITY	7595.43050047437
LATITUDE	-
8.96029751374064	
LONGITUDE	108.370093747812
HEADING	-
12.0325642787745	
EQUATORIAL_RADIUS	6378137
ECCENTRICITY_SQUARED	
0.00669437999014132	
EARTH_EAST_RADIUS	6378654.94462101
EARTH_NORTH_RADIUS	6336817.90676525
EARTH_RADIUS	6338622.30569883
ORBIT_DIRECTION	ascending
DOPPLER_AMBGTY	0
DOPPLER_RANGE0	0.014596
DOPPLER_RANGE1	-6.1709e-07
DOPPLER_RANGE2	-1.0363e-10
DOPPLER_RANGE3	0.
SQUINT	0.0492118858853771

**Lampiran 2**  
**Tabel Besar Deformasi Bagian**  
**Utara, Selatan, Barat, Timur**

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***



Utara (Pair1)			Utara (Pair2)			Utara (Pair3)		
No. Titik	Nilai Phase Unwrapping	Besar Deformasi (cm)	No. Titik	Nilai Phase Unwrapping	Besar Deformasi (cm)	No. Titik	Nilai Phase Unwrapping	Besar Deformasi (cm)
1	-0.25	1.47	1	1.54	-9.10	1	-0.09	0.52
2	-0.18	1.06	2	1.59	-9.39	2	-0.22	1.28
3	-0.29	1.71	3	1.53	-9.03	3	0.07	-0.43
4	-0.54	3.22	4	1.51	-8.91	4	0.32	-1.89
5	-0.68	3.99	5	1.48	-8.75	5	0.32	-1.87
6	-0.51	3.00	6	1.44	-8.48	6	0.49	-2.88
7	-0.67	3.95	7	1.35	-7.97	7	0.41	-2.44
8	-0.85	5.03	8	1.30	-7.68	8	0.36	-2.12
9	-0.93	5.47	9	1.05	-6.17	9	0.33	-1.95
10	-0.94	5.52	10	0.93	-5.51	10	0.05	-0.30
11	-1.06	6.27	11	0.64	-3.80	11	0.39	-2.30
12	-1.30	7.65	12	0.47	-2.76	12	0.58	-3.40
13	-1.24	7.29	13	0.36	-2.15	13	0.37	-2.18
14	-1.07	6.30	14	0.31	-1.81	14	0.24	-1.42
15	-1.11	6.52	15	0.25	-1.47	15	0.04	-0.21
16	-1.19	7.03	16	0.10	-0.56	16	-0.14	0.84
17	-1.32	7.82	17	-0.23	1.34	17	-0.26	1.56
18	-1.18	6.96	18	-0.25	1.46	18	-0.51	2.99
19	-1.16	6.84	19	-0.09	0.56	19	-0.23	1.38
20	-1.57	9.24	20	0.11	-0.65	20	0.21	-1.24
21	-1.35	7.96	21	0.06	-0.34	21	0.06	-0.34
21	-1.33	7.82	22	0.06	-0.33	22	-0.57	3.34
22	-1.31	7.75	23	0.16	-0.93	23	-0.20	1.18
23	-1.43	8.41	24	0.10	-0.57	24	-0.32	1.91
24	-1.25	7.35	25	0.14	-0.80	25	0.04	-0.25
25	-0.99	5.86	26	0.43	-2.54	26	-0.37	2.15
26	-0.96	5.66	27	0.23	-1.37	27	-0.35	2.08
27	-1.14	6.72				28	-0.40	2.38
						29	-0.31	1.82
						30	-0.28	1.68
						31	-0.36	2.10
						32	0.11	-0.64

Selatan (Pair1)			Selatan (Pair2)			Selatan (Pair3)		
No. Titik	Nilai Phase Unwrapping	Besar Deformasi (cm)	No. Titik	Nilai Phase Unwrapping	Besar Deformasi (cm)	No. Titik	Nilai Phase Unwrapping	Besar Deformasi (cm)
1	1.38	-8.17	1	1.92	-11.36	1	1.3428	-7.92
2	1.61	-9.53	2	1.89	-11.14	2	1.2111	-7.15
3	1.89	-11.18	3	1.76	-10.39	3	1.1882	-7.01
4	2.04	-12.01	4	1.81	-10.68	4	1.0971	-6.47
5	2.41	-14.21	5	1.82	-10.75	5	0.9116	-5.38
6	2.65	-15.64	6	2.00	-11.80	6	0.9077	-5.36
7	2.58	-15.22	7	1.92	-11.34	7	0.8084	-4.77
8	2.66	-15.70	8	1.77	-10.47	8	0.7421	-4.38
9	2.59	-15.29	9	1.46	-8.61	9	0.6989	-4.12
10	1.88	-11.10	10	1.36	-8.05	10	0.7571	-4.47
11	0.46	-2.72	11	1.25	-7.37	11	0.6242	-3.68
12	0.90	-5.31	12	1.30	-7.66	12	0.7478	-4.41
13	1.37	-8.08	13	1.58	-9.34	13	0.9875	-5.83
14	1.66	-9.79	14	1.26	-7.43	14	0.7115	-4.20
15	1.47	-8.70	15	1.10	-6.51	15	0.7561	-4.46
16	1.51	-8.89	16	1.06	-6.26	16	0.8477	-5.00
17	1.27	-7.51	17	1.10	-6.48	17	0.7355	-4.34
18	0.79	-4.64	18	0.81	-4.80	18	0.9403	-5.55
19	0.70	-4.11	19	0.38	-2.26	19	0.7742	-4.57
			20	0.57	-3.39	20	0.6161	-3.64
			21	0.91	-5.35	21	0.5411	-3.19
			22	0.73	-4.32	22	0.4558	-2.69
			23	0.51	-3.04	23	0.6297	-3.72
						24	0.5604	-3.31

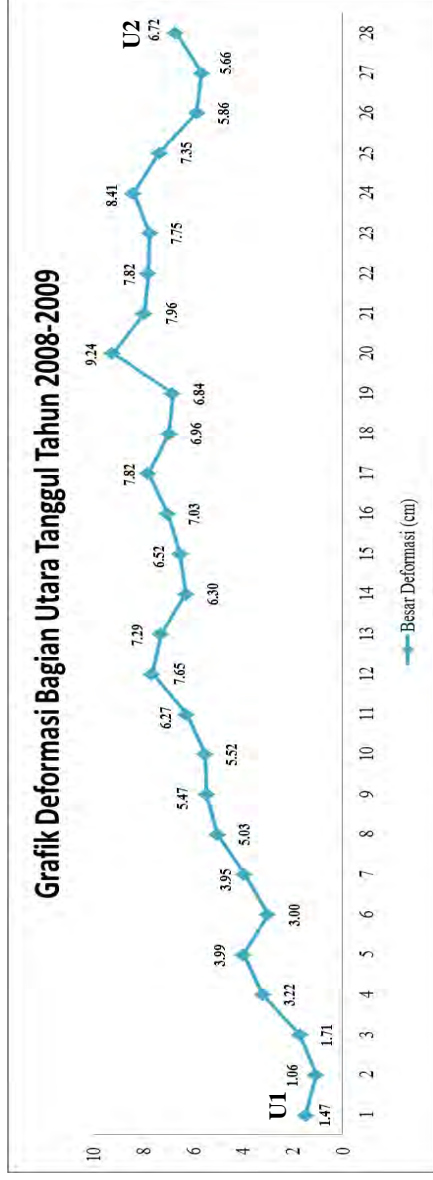
Barat (Pair1)			Barat (Pair2)			Barat (Pair3)		
No. Titik	Nilai <i>Phase Unwrapping</i>	Besar Deformasi (cm)	No. Titik	Nilai <i>Phase Unwrapping</i>	Besar Deformasi (cm)	No. Titik	Nilai <i>Phase Unwrapping</i>	Besar Deformasi (cm)
1	0.05	-0.27	1	1.76	-10.36	1	0.07	-0.42
2	0.12	-0.69	2	1.83	-10.78	2	0.11	-0.67
3	0.12	-0.70	3	1.83	-10.82	3	0.07	-0.43
4	0.22	-1.28	4	1.84	-10.85	4	0.12	-0.70
5	0.67	-3.94	5	1.88	-11.08	5	0.24	-1.42
6	0.66	-3.91	6	1.94	-11.42	6	0.38	-2.24
7	0.88	-5.17	7	1.92	-11.34	7	0.40	-2.37
8	1.05	-6.22	8	1.96	-11.58	8	0.52	-3.05
9	1.48	-8.74	9	1.91	-11.28	9	0.87	-5.14
10	1.63	-9.62	10	2.14	-12.60	10	1.19	-7.01
11	1.59	-9.40	11	2.38	-14.07	11	1.61	-9.52
12	1.94	-11.42	12	2.41	-14.25	12	2.23	-13.16
13	2.27	-13.40	13	2.64	-15.55	13	2.18	-12.85
14	1.16	-6.86	14	3.30	-19.47	14	2.47	-14.59
15	1.49	-8.79	15	2.29	-13.53	15	2.08	-12.30
16	1.60	-9.46	16	1.96	-11.55	16	1.73	-10.20
17	1.63	-9.63	17	1.91	-11.26	17	2.33	-13.77
18	0.86	-5.08	18	1.47	-8.67	18	2.24	-13.20
19	0.83	-4.92	19	1.52	-9.00	19	1.32	-7.80
20	0.85	-5.02	20	1.86	-10.96	20	2.10	-12.38
21	0.92	-5.41	21	1.89	-11.16	21	1.56	-9.21
22	1.08	-6.35	22	1.84	-10.85	22	1.17	-6.92
23	1.05	-6.18	23	1.83	-10.78	23	1.18	-6.97
24	0.95	-5.59	24	1.78	-10.53	24	1.22	-7.19
25	1.03	-6.10	25	1.60	-9.43	25	1.17	-6.93
26	0.91	-5.37	26	1.44	-8.50	26	1.17	-6.93
27	0.68	-4.00	27	1.37	-8.09	27	1.13	-6.65
			28	1.26	-7.42	28	1.19	-7.03
						29	1.09	-6.46
						30	0.97	-5.72
						31	0.85	-5.00
						32	0.77	-4.52
						33	0.82	-4.85
						34	0.79	-4.68
						35	0.71	-4.17
						36	0.67	-3.94
						37	0.72	-4.27

Timur (Pair1)			Timur (Pair2)			Timur (Pair3)		
No. Titik	Nilai Phase Unwrapping	Besar Deformasi (cm)	No. Titik	Nilai Phase Unwrapping	Besar Deformasi (cm)	No. Titik	Nilai Phase Unwrapping	Besar Deformasi (cm)
1	-1.02	6.02	1	0.69	-4.06	1	1.0584	-6.25
2	-0.94	5.56	2	0.95	-5.60	2	1.1687	-6.90
3	-0.95	5.58	3	1.04	-6.12	3	0.9504	-5.61
4	-0.65	3.82	4	1.09	-6.44	4	0.8021	-4.73
5	-0.78	4.59	5	1.03	-6.06	5	0.8669	-5.12
6	-0.45	2.64	6	0.95	-5.61	6	1.0015	-5.91
7	0.30	-1.78	7	0.76	-4.48	7	0.5004	-2.95
8	0.30	-1.78	8	0.60	-3.55	8	0.5344	-3.15
9	0.25	-1.50	9	0.61	-3.58	9	0.9018	-5.32
10	0.20	-1.20	10	0.66	-3.91	10	0.8326	-4.91
11	0.22	-1.31	11	0.75	-4.42	11	0.766	-4.52
12	0.20	-1.19	12	0.80	-4.73	12	1.0463	-6.17
13	0.83	-4.90	13	0.77	-4.55	13	1.1527	-6.80
14	0.33	-1.95	14	0.80	-4.75	14	0.7976	-4.71
15	0.39	-2.28	15	0.83	-4.88	15	0.341	-2.01
16	0.43	-2.55	16	0.72	-4.25	16	0.4083	-2.41
17	0.50	-2.96	17	0.64	-3.76	17	0.5392	-3.18
18	0.70	-4.15	18	1.08	-6.37	18	0.2753	-1.62
19	1.61	-9.49	19	0.96	-5.69	19	0.3548	-2.09
20	1.33	-7.86	20	0.94	-5.57	20	0.3659	-2.16
21	0.99	-5.84	21	0.94	-5.54	21	0.1821	-1.07
			22	0.62	-3.68	22	-0.1327	0.78
			23	0.74	-4.40	23	-0.1996	1.18
			24	0.92	-5.42	24	-0.0104	0.06
			25	0.16	-0.92	25	0.2417	-1.43
			26	0.29	-1.71	26	0.4732	-2.79
			27	0.41	-2.43	27	0.4852	-2.86
			28	0.39	-2.29	28	0.1721	-1.02
			29	0.41	-2.41	29	0.0081	-0.05
			30	0.36	-2.10	30	0.0341	-0.20
						31	0.0893	-0.53

**Lampiran 3**  
**Grafik Deformasi Bagian Utara,**  
**Selatan, Barat, dan Timur**

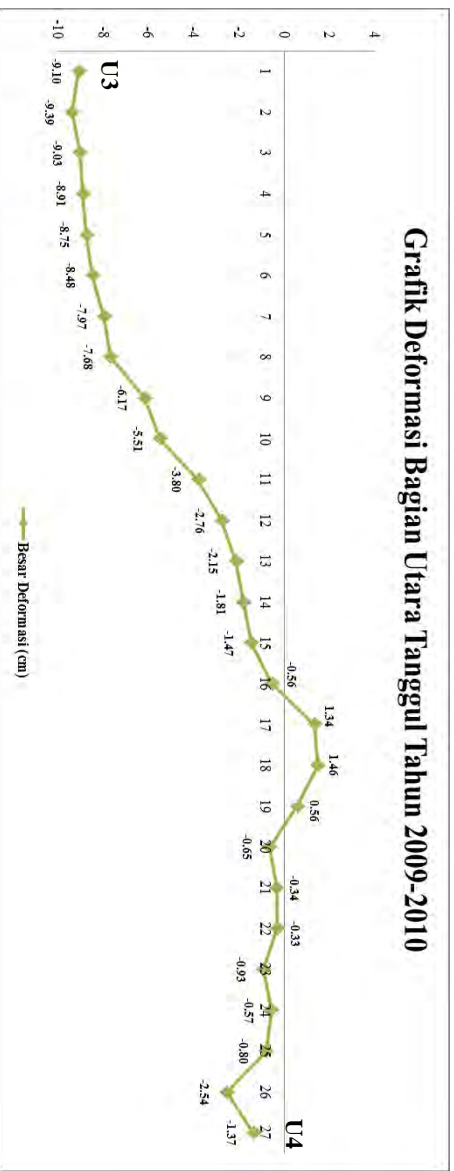
***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***

## GRAFIK DEFORMASI TAHUN 2008-2009 (UTARA)



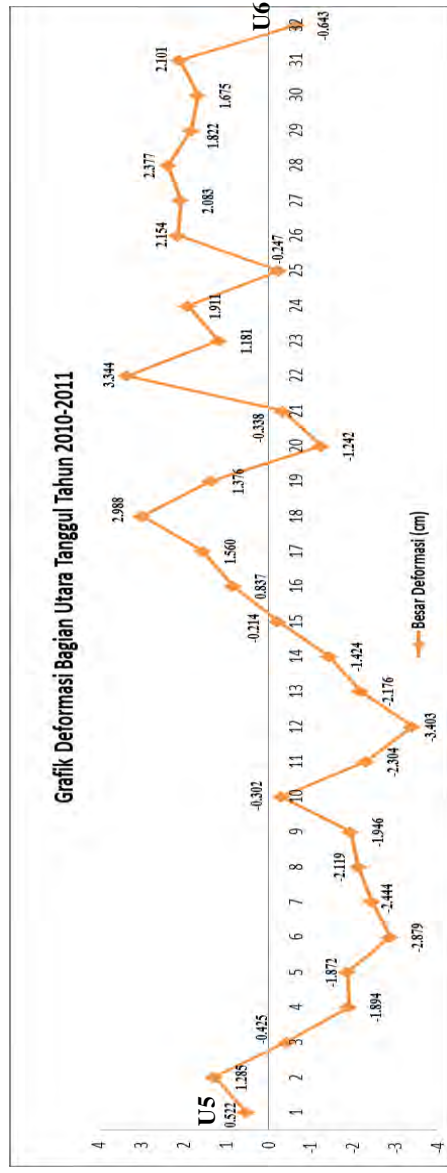
## GRAFIK DEFORMASI TAHUN 2009-2010 (UTARA)

Grafik Deformasi Bagian Utara Tanggul Tahun 2009-2010

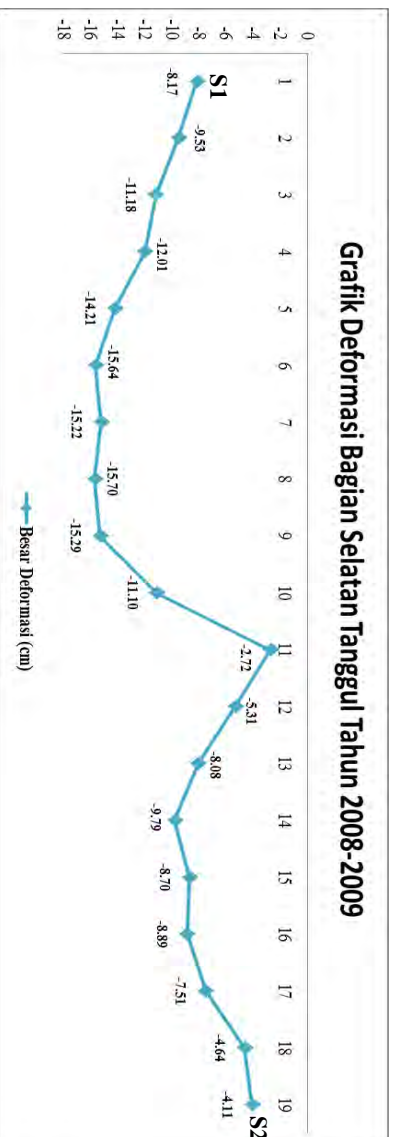




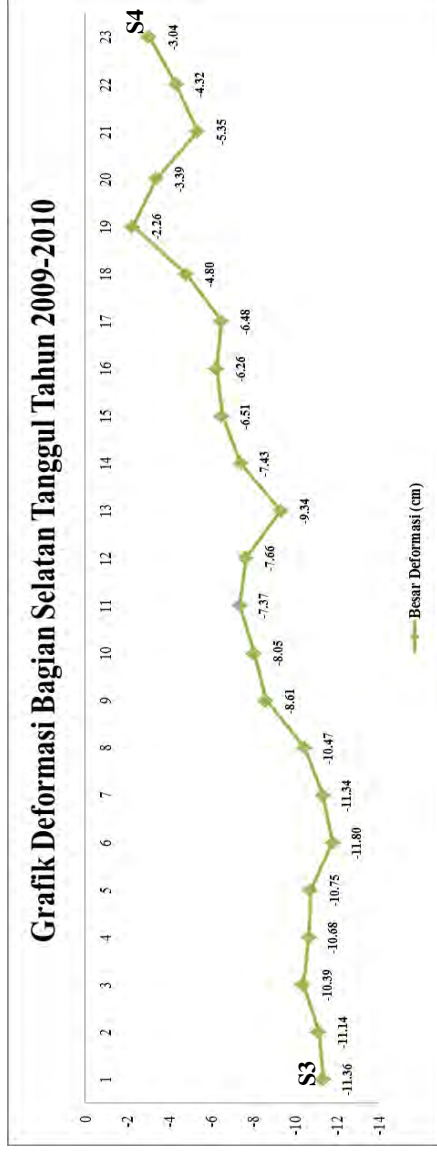
## GRAFIK DEFORMASI TAHUN 2010-2011 (UTARA)



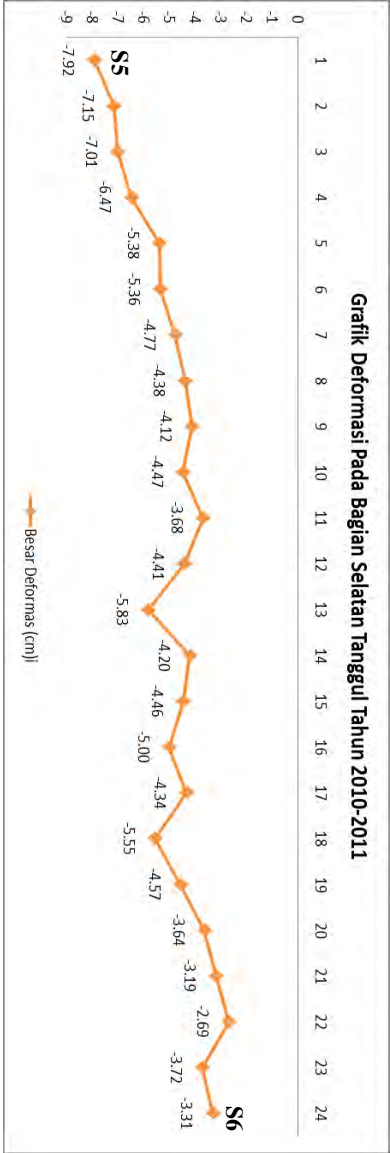
## GRAFIK DEFORMASI TAHUN 2008-2009 (SELATAN)



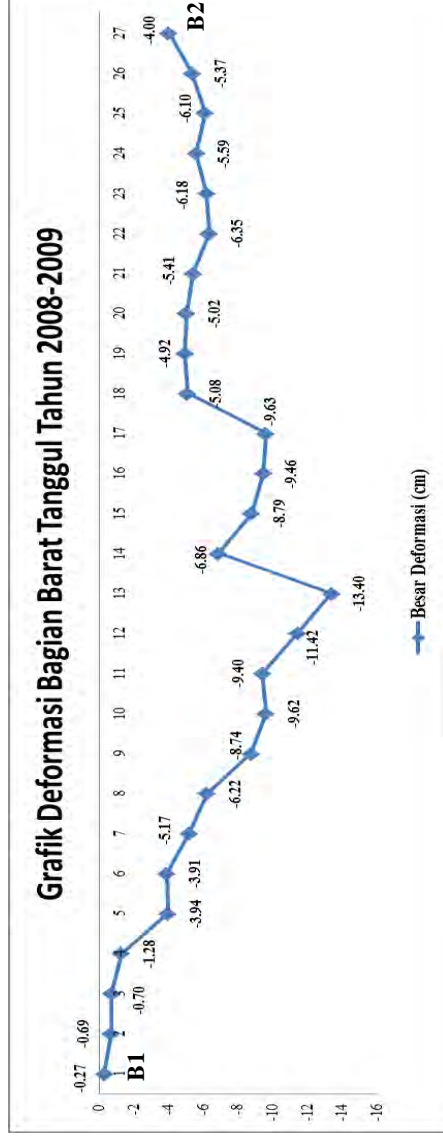
## GRAFIK DEFORMASI TAHUN 2009-2010 (SELATAN)



**GRAFIK DEFORMASI TAHUN 2010-2011 (SELATAN)**

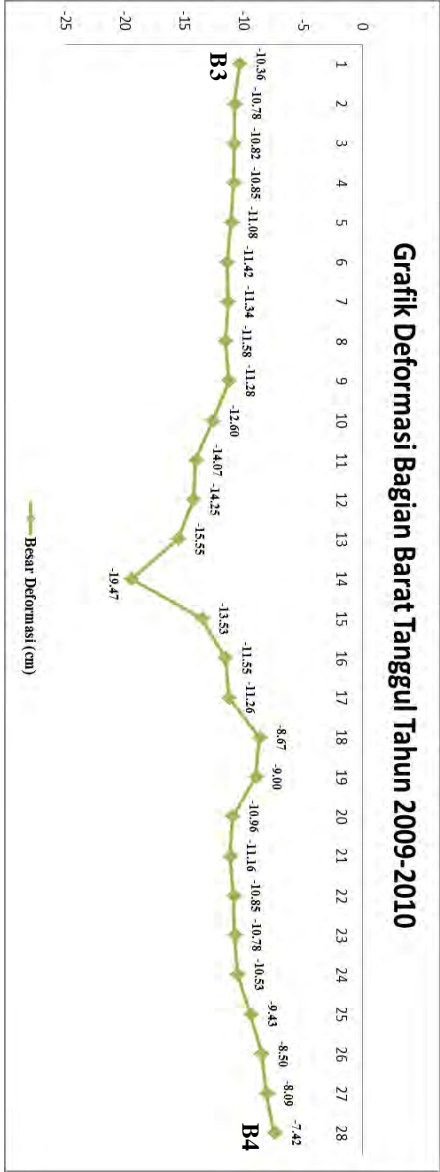


## GRAFIK DEFORMASI TAHUN 2008-2009 (BARAT)

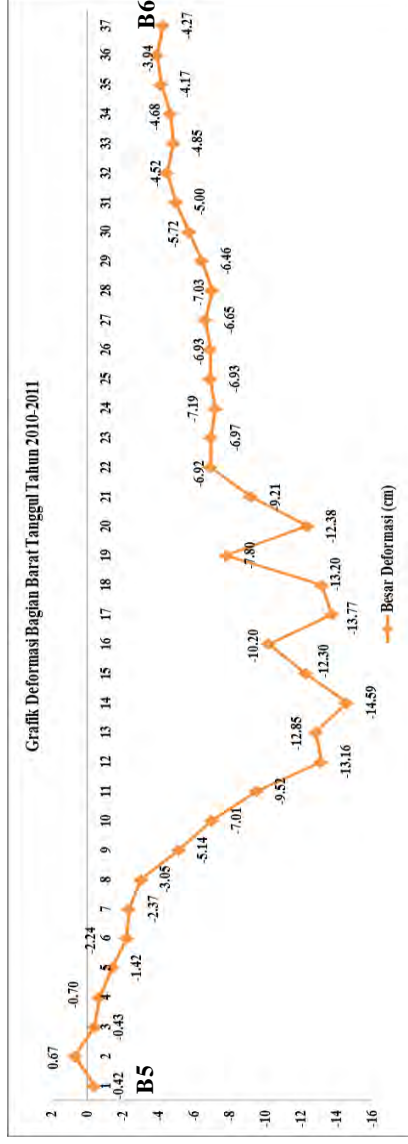


GRAFIK DEFORMASI TAHUN 2009-2010 (BARAT)

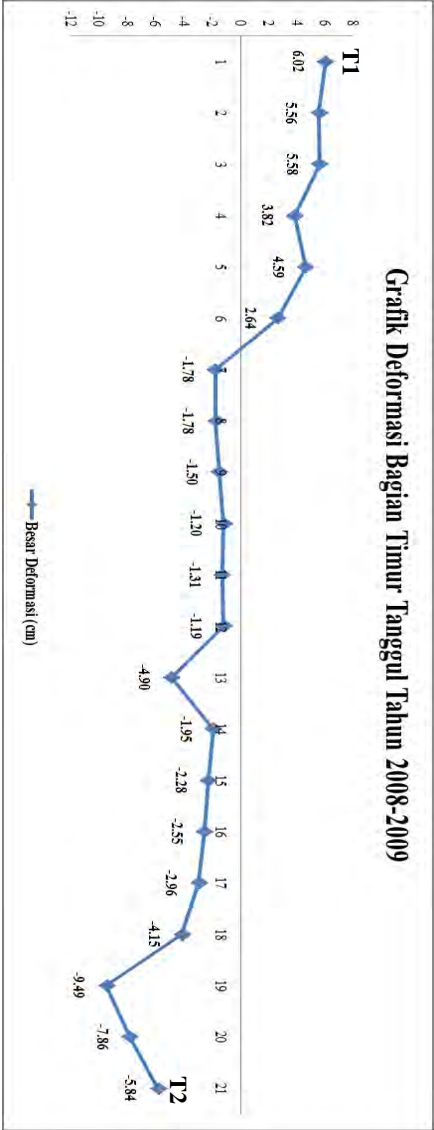
Grafik Deformasi Bagian Barat Tanggul Tahun 2009-2010



## GRAFIK DEFORMASI TAHUN 2010-2011 (BARAT)



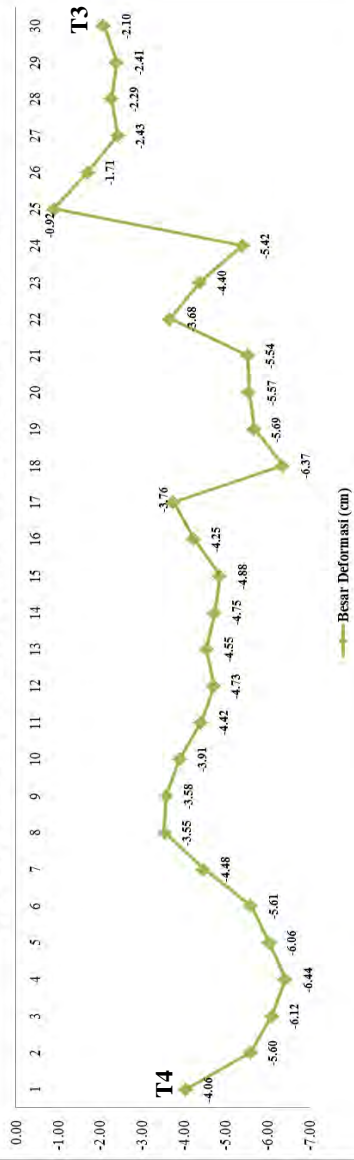
GRAFIK DEFORMASI TAHUN 2008-2009 (TIMUR)



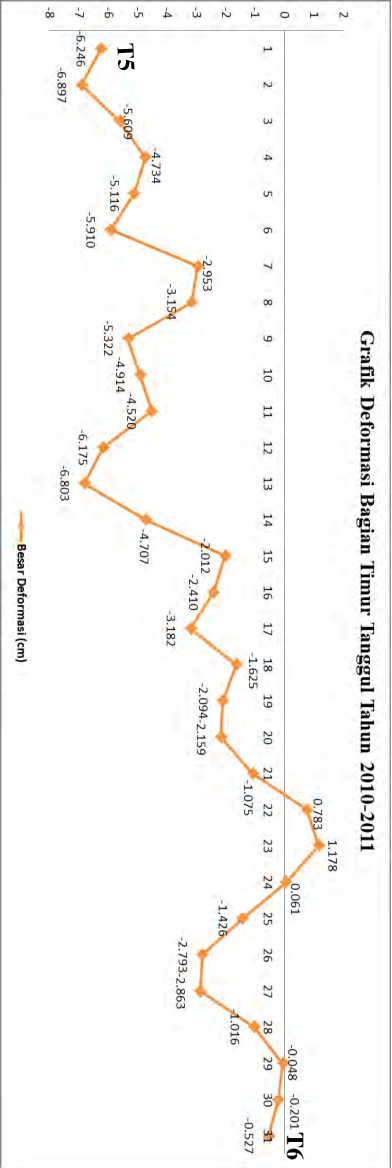


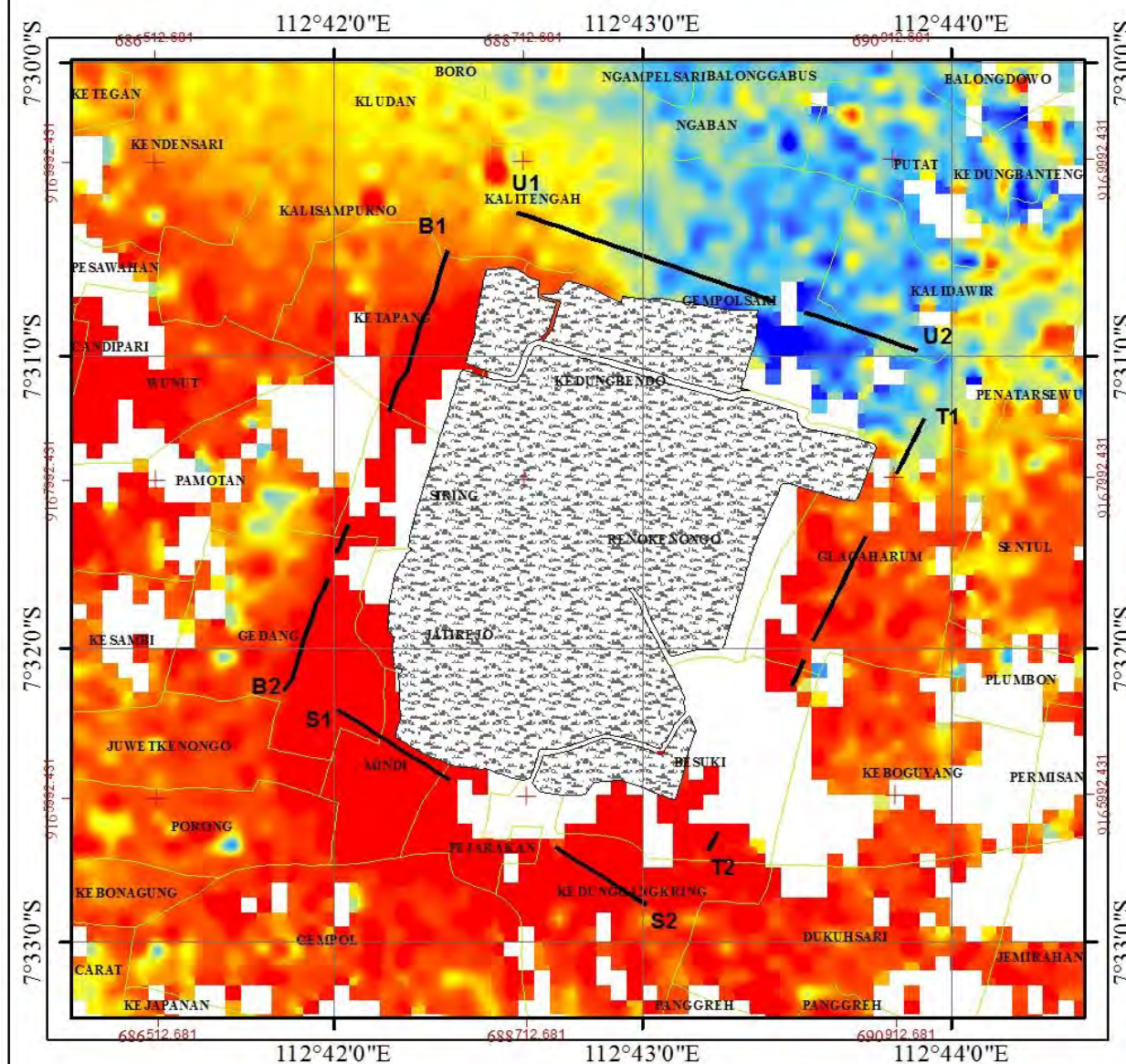
## GRAFIK DEFORMASI TAHUN 2009-2010 (TIMUR)

Grafik Deformasi Bagian Timur Tanggul Tahun 2009-2010



GRAFIK DEFORMASI TAHUN 2010-2011 (TIMUR)





## PETA PENGAMBILAN SAMPLE CROSS SECTION TAHUN 2008-2009 DI AREA LUMPUR LAPINDO SIDOARJO

Skala 1 : 40.000

0 600 1200 2400 Meters



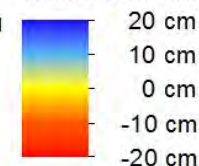
Sistem Koordinat : Geografis  
Datum : WGS 84  
Zona : 49 S



### Legenda

- Sample Cross Section Pair 1
- Batas Desa
- ▨ Batas Tanggul Lapindo

### Besar Deformasi 2008-2009



Di buat Oleh:  
SENDY AYU YULYTA  
3511 100 055

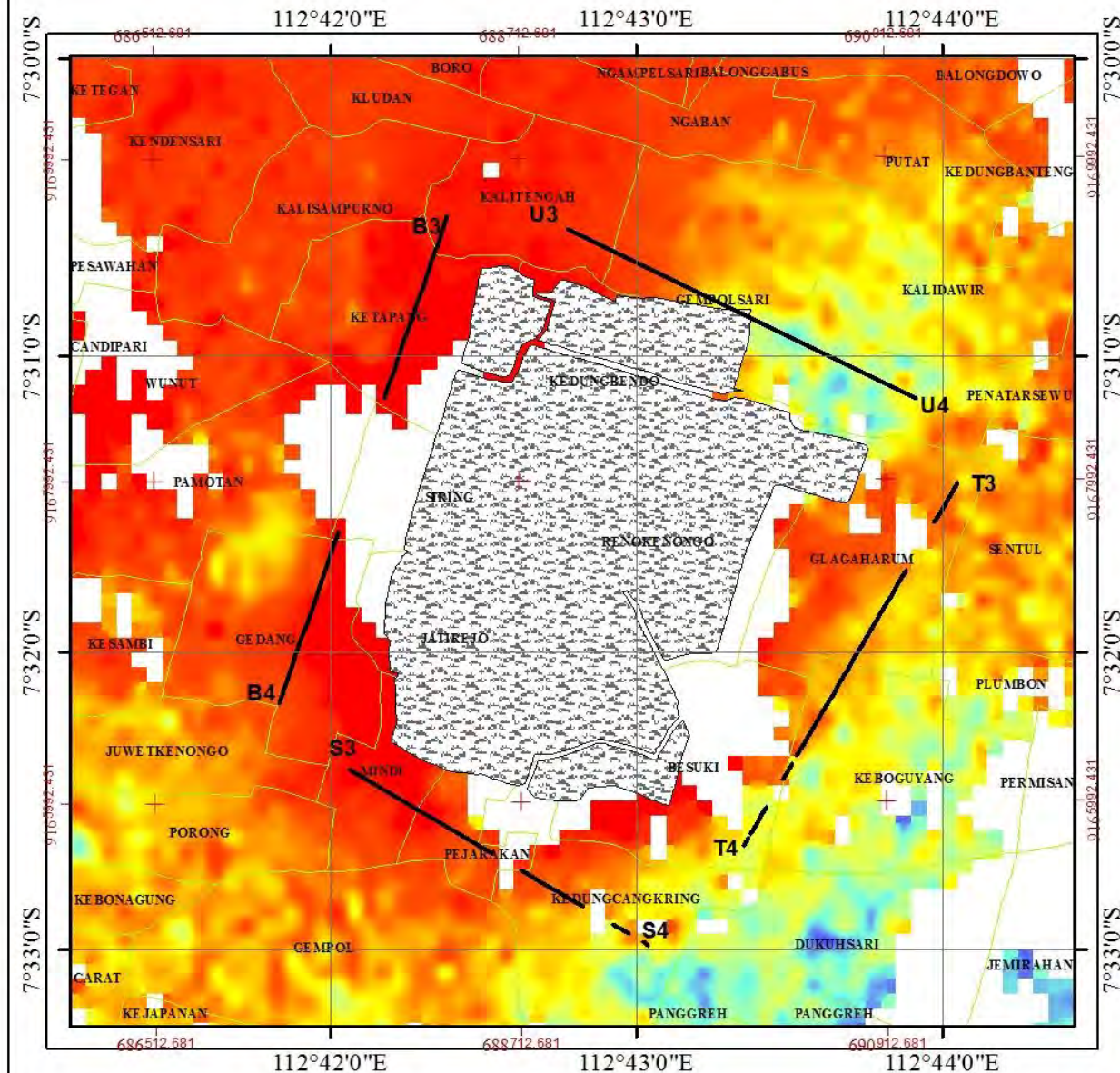
Dosen Pembimbing:  
Dr. Ir. Muhammad Taufik  
Noorlaila Hayati ST, MT.

Tanggal Pembuatan: 6 April 2015



JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015





## PETA PENGAMBILAN SAMPLE CROSS SECTION TAHUN 2009-2010 DI AREA LUMPUR LAPINDO SIDOARJO

Skala 1 : 40.000



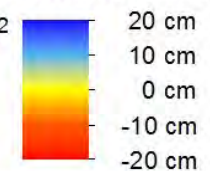
Sistem Koordinat : Geografis  
Datum : WGS 84  
Zona : 49 S



### Legenda

- Sample Cross Section Pair2
- Batas Desa
- ▨ Batas Tanggul Lapindo

### Besar Deformasi 2009-2010



Di buat Oleh:  
SENDY AYU YULYA  
3511 100 055

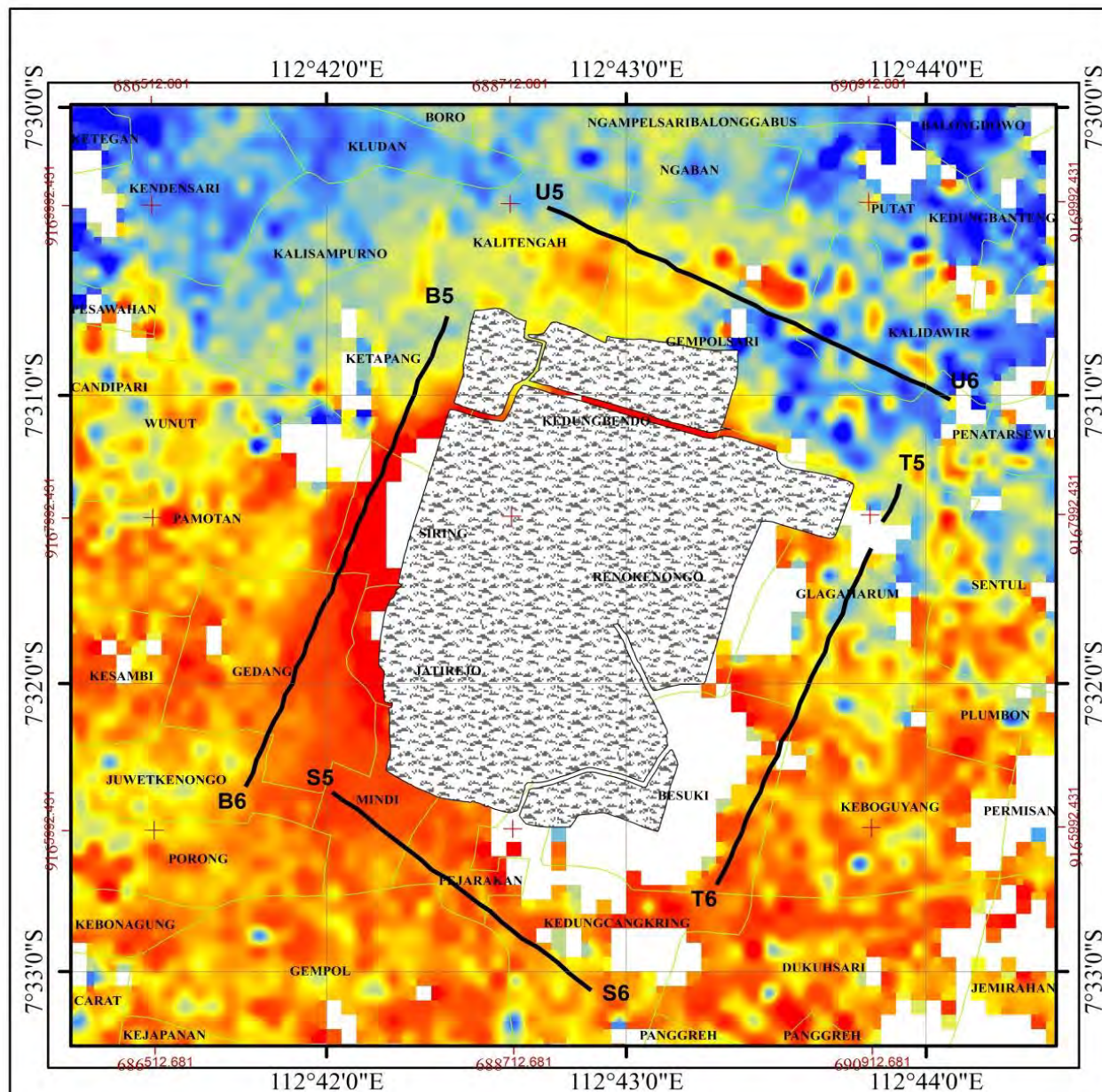
Dosen Pembimbing:  
Dr. Ir. Muhammad Taufik  
Noorlaila Hayati ST, MT.

Tanggal Pembuatan: 6 April 2015



JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015

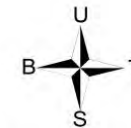




## PETA PENGAMBILAN SAMPLE CROSS SECTION TAHUN 2010-2011 DI AREA LUMPUR LAPINDO SIDOARJO

Skala 1 : 40.000

0 600 1200 2400 Meters



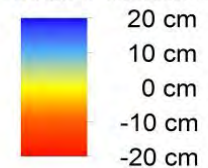
Sistem Koordinat : Geografis  
Datum : WGS 84  
Zona : 49 S



### Legenda

- Sample Cross Section Pair3
- Batas Desa
- ▨ Batas Tanggul Lapindo

### Besar Deformasi 2010-2011



Di buat Oleh:  
SENDY AYU YULYA  
3511 100 055

Dosen Pembimbing:  
Dr. Ir. Muhammad Taufik  
Noorlaila Hayati ST, MT.

Tanggal Pembuatan: 6 April 2015



JURUSAN TEKNIK GEOMATIKA  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2015

## BIOGRAFI PENULIS



**SENDY AYU YULYTA.** Penulis merupakan anak ke-2 dari 3 bersaudara yang dilahirkan di Surabaya, 25 Juli 1993. Penulis menempuh pendidikan mulai dari taman kanak – kanak di TK Bina Putra, Bendul Merisi, Surabaya lalu dilanjutkan jenjang sekolah dasar di SDN Margorejo I/403, Surabaya. Kemudian penulis menempuh Sekolah menengah pertama di SMP Negeri 12 Surabaya dan sekolah menengah atas di SMA Negeri 10 Surabaya.

Pada tahun 2011 penulis diterima di Perguruan Tinggi Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur PMDK Kemitraan dengan pilihan Jurusan Teknik Geomatika. Semasa menjadi mahasiswa dari tahun pertama sampai tahun keempat penulis aktif dalam mengikuti dan menjadi bagian di organisasi intra kampus yaitu Himpunan Mahasiswa Teknik Geomatika (HIMAGE-ITS) yaitu sebagai Sekretaris II HIMAGE-ITS tahun 2012/2013 serta Sekretaris I HIMAGE-ITS 2013/2014. Selain itu penulis juga cukup aktif mengikuti pelatihan keterampilan manajemen mahasiswa seperti LKMM PRA-TD dan LKMM TD. Dalam menyelesaikan syarat Tugas Akhir, penulis memilih bidang keahlian Geospasial, dengan judul “Studi Penurunan Muka Tanah Menggunakan data ALOS PALSAR Multitemporal Dengan Teknik *Differential Interferometric Synthetic Aperture Radar (DInSAR)*.”

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***